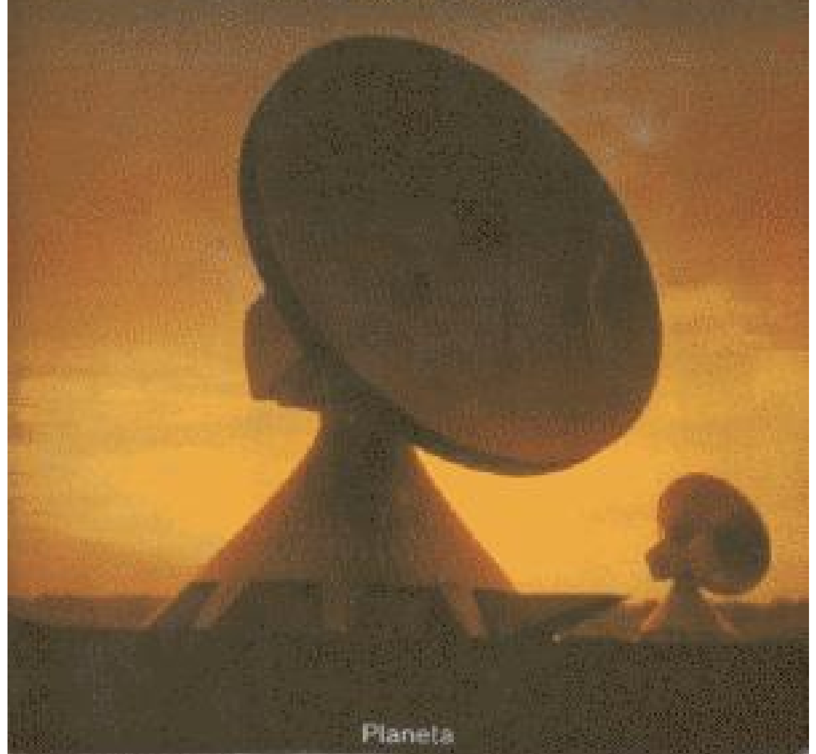

Isaac Asimov
La relatividad del error
Los grandes enigmas de la humanidad expuestos con sencillez por uno de los científicos más famosos del mundo.
Planeta

ISAAC ASIMOV

LA RELATIVIDAD DEL ERROR

A mi hermano Stan Asimov,
con quien nunca crucé una palabra
malhumorada.

Dirección científica: Jaume Josa Llorca; Profesor de Historia de las Ciencias Naturales de la Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona; Colaborador científico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas Associatedship of Chelsea College (University of London).

Autores de la biografía y la presentación: Pilar Zueras, Néstor Navarrete

Autor de la traducción y adaptación: María del Mar Moya Tasis

Título original: The relativity of wrong.

Título en español: La relatividad del error

RBA Editores, S.A., 1994, por esta edición Pérez Galdós, 36 bis, 08012 Barcelona
ISBN (Obra completa): 84473-017-5
ISBN: 84-473-0618-6
Depósito Legal: B-26.568-1994

Impresión y encuadernación: CAYFOSA. Ctra. de Caldes, Km 3, Sta. Perpetua de Mogoda (Barcelona)

Impreso en España — Printed in Spain

Índice

Isaac Asimov

1920 Nace el 2 de enero en Petrovichi, localidad rusa de la región de Smoliensk.

1923 Su familia emigra a Estados Unidos y se establece en la ciudad de Nueva York.

1935 Ingresa en la Universidad Columbia para estudiar Química. Empieza a escribir relatos de ciencia-ficción.

1938 Publica su primer relato, «*Marooned off Vesta*», en la revista *Amazing Stories*.

1939 Obtiene la licenciatura en Ciencias.

1941 Comienza a trabajar para la Marina estadounidense en unos laboratorios de Filadelfia, donde permanecerá hasta el final de la 2da. Guerra Mundial. Publica «*Nightfall*» («Anochecer») que la SFWA (*Science Fiction Writers of America*) habrá de considerar el mejor relato de ciencia-ficción jamás escrito.

1942 En el número de mayo de la revista *Astounding* aparece el primer relato de la serie de la Fundación.

1948 Se doctora en Bioquímica por la Universidad Columbia.

1948 Es nombrado profesor asociado.

1949 Inicia su carrera docente como auxiliar de Bioquímica en la Medical School de la Universidad de Boston.

1950 Publica su primer libro, «*Pebble in the Sky*» («Un guijarro en el cielo»), al que sigue, ese mismo año, «*I, robot*» («Yo, robot»). En los relatos de este último introduce las famosas «tres leyes de la robótica», que serán adoptadas por otros autores.

1951 Es nombrado profesor ayudante. Con «*Foundation*» («Fundación») se inicia la edición en libro de la serie del mismo título, cuya trilogía inicial se completará con la publicación de «*Foundation and Empire*» («Fundación e Imperio») en 1952 y «*Second Foundation*» («Segunda Fundación») en 1953.

1952 En colaboración con B. Walker y W. Boyd publica «*Biochemistry and human metabolism*».

1954 Con «*Chemicals of life: enzimes, vitamins, hormones*» inicia su vasta obra de divulgación científica. En este libro ya aparecen los elementos que lo destacarán de entre los escritores de divulgación: un estilo directo y sencillo y un sutil sentido del humor.

1957 Se publican los libros de divulgación «*Building blocks of the Universe*» y «*Only a trillion*», la novela «*The naked sun*» («El sol desnudo») y el volumen de relatos «*Earth is room enough*» («Con la Tierra nos basta»).

1958 Aunque proseguirá su carrera académica, abandona la docencia para dedicarse exclusivamente a su trabajo como divulgador científico y escritor.

1960 Publica «*The intelligent man's guide to science*», en la que recopila los elementos teóricos fundamentales para poder interpretar los últimos descubrimientos científicos y tecnológicos.

1965 Una actualización de la obra anterior, con el título de «*The new intelligent man's guide to science*» incorpora los avances producidos desde 1960. Ese mismo año, con la publicación de «*The Greeks: a great adventure*» inicia lo que constituirá su vasta, amena y muy documentada «Historia universal».

1966 Publica la novela «*Fantastic voyage*» («Viaje alucinante»). Recibe el Premio Hugo por su

trilogía de la Fundación, considerada la mejor serie de todos los tiempos.

1972 Publica «*Introduction to science*» («Introducción a la ciencia»), tercera versión de «*The intelligent man's guide to science*». Su novela «*The gods themselves*» («Los propios dioses») obtiene los premios Hugo y Nebula.

1979 Es nombrado profesor titular. Publica la primera parte de su autobiografía: «*Memory yet green*».

1980 Segunda parte de su autobiografía: «*In joy still felt*».

1982 Con «*Foundation's edge*» («Los límites de la Fundación») retoma la famosa serie iniciada en los años cuarenta, que completará con «*Foundation and Earth*» («Fundación y Tierra», 1986), «*Prelude to Foundation*» («Preludio a la Fundación», 1988) y «*Forwards the Foundation*» («Hacia la Fundación», 1993).

1984 Publicación de «*Asimov's new guide to science*» («Nueva guía de la ciencia»), versión definitiva de «*The intelligent man's guide to science*».

1992 Fallece el 6 de abril en la ciudad de Nueva York.

La relatividad del error

Los ensayos de Isaac Asimov que integran el presente volumen están agrupados en tres partes. La primera está dedicada a cuestiones relacionadas con la constitución de la materia; la segunda trata del funcionamiento del sistema solar, y la tercera analiza algunos aspectos de la formación del Universo. Un último ensayo, que es el que da título al volumen, conecta las tres partes entre sí y resume en cierto modo el pensamiento de Asimov como historiador de la ciencia.

De los núcleos atómicos a la formación de esqueletos

El descubrimiento por parte de los físico-químicos de que un mismo elemento podía tener un número variable de neutrones en su núcleo, sin que esta variabilidad afectara sus propiedades químicas, abrió un decisivo capítulo de la Química. Y, lo que es más, tuvo importantes consecuencias para el desarrollo de la Bioquímica. El reconocimiento de los isótopos, la producción de isótopos radioactivos de elementos relativamente corrientes y su facilidad para ser seguidos en todos los procesos biológicos, son explicados por Asimov en esta primera parte de la obra, que desemboca en una consideración del largo proceso evolutivo que llevó a muchas especies animales a la formación de esqueletos mediante la utilización de ciertas sustancias inorgánicas.

La Luna, Urano y Plutón

La segunda parte, dedicada al sistema solar, es quizá la más heterogénea de las tres que componen la obra, pero su falta de unidad se compensa sobradamente con el interés y la amenidad de cada uno de los ensayos que la constituyen. En el primero de ellos, Asimov cuestiona de forma muy convincente las arraigadas fantasías que han ligado, en diversas épocas y culturas, determinados aspectos del comportamiento humano, e incluso de su fisiología, con la periodicidad de las fases lunares. En el segundo ensayo, después de bromear sobre la impopularidad del planeta Urano debido a su escatológica pronunciación en lengua inglesa, divulga algunos aspectos poco conocidos del más desconocido de los tres gigantes de nuestro sistema y de sus satélites. Para finalizar, Asimov se refiere a Plutón, del que piensa que, más que un planeta diminuto, quizá sea un asteroide gigante.

Novas, supernovas y Física cuántica

Los prejuicios culturales son un inconveniente añadido en el camino del conocimiento, como pone de manifiesto Asimov a propósito de la dificultad que representó, para los hombres cultos de la Antigüedad y de la Edad Media europea, abandonar la idea aristotélica de la inmutabilidad de la esfera celeste. Conviene tener en cuenta que otras culturas, como la china, registraron sin ningún prejuicio la aparición y desaparición de objetos extraordinariamente brillantes en el cielo nocturno.

Pero en Occidente hubo que esperar hasta los cambios producidos durante el Renacimiento para que se llegara a una aceptación de fenómenos como el de las novas y las supernovas. Aunque no fue hasta nuestro siglo que encontraron una explicación convincente y permitieron a la vez una nueva concepción del Universo, en la que participan tanto la Relatividad como la Física cuántica.

Sobre el conocimiento científico

En el último ensayo, dedicado a la relatividad de los errores, Asimov critica una falacia que ha sido sostenida a menudo por voces de cierto prestigio. Dado que la ciencia demuestra periódicamente que los conocimientos que se daban por ciertos en un determinado momento resultan no serlo a la luz de nuevos descubrimientos, algunos han llegado a concluir que todo conocimiento es erróneo, en la medida en que el futuro terminará por demostrar su falsedad. Asimov sostiene que la falacia de un argumento de este tipo se basa en el valor absoluto que se da a expresiones como cierto o falso, cuando en realidad hay una gradación extrema en las categorías de certeza o falsedad que contiene cada afirmación. Todo es relativo, incluso el error.

Otros libros de la colección relacionados con el tema

1001 cosas que todo el mundo debería saber sobre ciencia de James Trefil.
Temas científicos de Robert Hazen y James Trefil.
Un, dos, tres... infinito, Un planeta llamado Tierra y Una estrella llamada Sol de George Gamow.

Del mismo autor, en esta colección

Nueva guía de la ciencia. Ciencias físicas.
Nueva guía de la ciencia. Ciencias biológicas.
La búsqueda de los elementos.
La medición del Universo.
Pasado, presente y futuro.
Soles en explosión.
Átomo.
Fotosíntesis.

Introducción: Mi Escrito Favorito

Estuve escribiendo estos ensayos al ritmo de uno por mes durante treinta años. Al principio me gustaba hacerlo, y esta satisfacción no ha disminuido a lo largo de los decenios. Todavía ahora, apenas puedo esperar a que pase un nuevo mes para poder escribir el siguiente artículo.

Debo decir que tanto The Magazine of Fantasy and Science Fiction*, que ha publicado mis ensayos sin falta en cada número de la revista desde noviembre de 1958, como* Doubleday*, que ha publicado las colecciones de los ensayos desde 1962, me dejan plena libertad de acción. Dejan que escriba sobre el tema que quiera y que lo presente como me apetezca. Aunque se trata de ensayos sobre ciencia, en ocasiones puedo escribir un ensayo sobre un tema no científico si lo deseo, y nadie se queja.*

Además, no hay peligro de que algún día me quede sin temas. La ciencia es tan vasta como el universo, y se refina de año en año a medida que los conocimientos progresan. Si escribo ahora un artículo sobre superconductividad, será necesariamente un artículo distinto del que habría escrito un par de años antes.

De hecho, he incluido en este volumen un artículo sobre el planeta Plutón que escribí hace algo más de medio año.

También incluyo una adición, de longitud considerable, con nueva información que era desconocida cuando escribí por primera vez el artículo.

Hay en todos estos ensayos un estímulo personal, porque para poder escribirlos tengo que organizar mis posibles conocimientos sobre el tema y darles consistencia con los materiales que pueda encontrar en mi biblioteca de referencias. En definitiva, debo educarme a mí mismo, y siempre acabo sabiendo más cosas sobre cualquier tema después de haber escrito el ensayo que antes de empezar; esta autoeducación es un motivo permanente de placer para mí, porque cuanto más sé, más plena es mi vida y mejor aprecio mi propia existencia.

Incluso cuando mi autoeducación resulta insuficiente, y acabo entendiendo algo al revés, o por descuido o por ignorancia, mis lectores tienen un carácter tal que siempre recibo cartas donde me explican mi error, cartas siempre corteses y a veces algo inseguras, como si el lector no pudiera creer realmente que yo estaba equivocado. También agradezco este tipo de educación. Quizá me ruborice, pero aprender es siempre algo que vale la pena.

Más importante todavía es la sensación que tengo de que quienes leen mis ensayos acaban a veces comprendiendo algo que antes ignoraban. Recibo un número considerable de cartas que me explican precisamente esto. Es maravilloso también recibirlas, porque si sólo escribiera para ganar dinero, todo el esfuerzo sería una simple transacción que me permitiría pagar el alquiler y comprar alimentos y vestidos para la familia. Si, además, soy útil a mis lectores, si los ayudo a ampliar sus vidas, tengo motivos para creer que vivo para algo más que la simple satisfacción del instinto de conservación.

Por otra parte, comparemos la ciencia con otros intereses humanos: por ejemplo, las competiciones deportivas profesionales.

Los deportes remueven la sangre, excitan la mente, despiertan el entusiasmo. En cierto modo canalizan la competencia entre partes distintas de la humanidad hacia actividades inofensivas. Sin embargo, después de algunos partidos de fútbol, por ejemplo, se producen enfrentamientos que desembocan en derramamientos de sangre, aunque todos estos desórdenes

reunidos no pueden compararse con las matanzas de una batalla pequeña, y —por lo menos en Estados Unidos— el béisbol, el rugby y el baloncesto se disputan sin que suceda nada más grave que algunos puñetazos en las gradas.

No me gustaría que desaparecieran los deportes (especialmente el béisbol, que es mi afición favorita), porque con esta desaparición la vida sería más gris y nos privaría de muchas cosas que quizá no tienen sustancia pero que nos parecen esenciales.

Y sin embargo, si nos apuraran, podríamos vivir sin los deportes.

Comparemos ahora la situación con la ciencia. La ciencia, si se utiliza correctamente, puede resolver nuestros problemas y hacernos un bien superior al de cualquier otro instrumento de la humanidad. La llegada de la máquina convirtió la esclavitud en algo totalmente antieconómico y acabó aboliéndola, mientras que todos los sermones morales de personas bien intencionadas apenas consiguieron nada. Será la aparición del robot lo que elevará la mente humana y la liberará de todas las tareas aburridas y repetitivas que entontecen y destruyen la mentalidad del hombre. La llegada del avión a reacción, de la radio, de la televisión y del disco fonográfico permitió que las personas más corrientes tuvieran acceso a las visiones y los sonidos de los triunfos humanos en arquitectura y bellas artes, que en épocas anteriores sólo estaban al alcance de los aristócratas y de los ricos. Y así sucesivamente.

Por otra parte, la ciencia, si se utiliza incorrectamente, puede aumentar nuestros problemas y acelerar la destrucción de la civilización e incluso la extinción de la especie humana. No es preciso que hable de los peligros de la explosión demográfica —debida en tan gran medida a los avances de la medicina moderna—, de los peligros de la guerra nuclear, del increíble nivel de contaminación química que padecemos, de la destrucción de los bosques y de los lagos por la lluvia ácida. Y así sucesivamente.

Por consiguiente, la ciencia es muy importante porque por un lado nos trae vida y progreso y por otro, destrucción y muerte. ¿Quién debe decidir el uso que se dé a la ciencia? ¿Debemos dejar la elección de nuestro futuro en manos de una élite? ¿O debemos participar en él? Es evidente que si la democracia tiene algún sentido, si el sueño estadounidense tiene algún sentido, deberíamos escoger que nuestro destino dependiera, por lo menos en cierto grado, de nuestra propia voluntad.

Si creemos que debemos escoger a nuestro presidente y a nuestros congresistas para que sólo puedan elaborar leyes que nos gusten, deberíamos también mantener la ciencia bajo nuestro control, y sólo podremos hacerlo de modo juicioso si por lo menos entendemos algo de ciencia.

Consideremos ahora de qué modo los periódicos y otros medios de información se ocupan de los deportes, la cantidad y detallismo de los datos especializados que ofrecen al público y que el público se traga con insaciable voracidad. Y pensemos en la falta abismal de información científica significativa en todos los periódicos, excepto en los más importantes y avanzados. Pensemos en las numerosas columnas sobre astrología y en la falta de información sobre astronomía. Pensemos en los reportajes detallados y entusiastas sobre ovnis o sobre personas que doblan cucharas con la mente, y las escasas referencias a los descubrimientos relativos a la ozonosfera: lo primero pura charlatanería y lo segundo una cuestión de vida y muerte.

En las circunstancias actuales, todo lo que podamos hacer para rectificar este desequilibrio es importante, por poco que sea. El cielo es testigo de que, a pesar de la gran calidad de mis lectores, su número absoluto es relativamente reducido, y que mis esfuerzos para educar alcanzan quizá a una persona entre dos mil quinientas.

Sin embargo, seguiré intentándolo y continuar, infatigablemente mis esfuerzos por llegar a los demás. Es imposible que con mis esfuerzos aislados pueda salvar el mundo, ni siquiera podré cambiar nada de modo perceptible, pero me sentiría muy avergonzado si dejara pasar un día sin intentarlo una vez más. Tengo que dar un sentido a mi vida, por lo menos para mí, si no para los demás, y escribir estos ensayos es uno de los medios principales para llevar a cabo esta tarea.

Primera Parte: Isótopos y elementos

1. El Segundo Isótopo Más Ligero

El primer laureado con el Nobel a quien conocí y con quien conversé fue el químico estadounidense Harold Clayton Urey (1893-1981). No fue un momento afortunado.

Había conseguido mi master de química en la Universidad de Columbia, y había obtenido mi título de licenciado en junio de 1939. Tenía la intención de continuar trabajando como graduado y daba por supuesto que aceptarían mi solicitud.

Sin embargo, en julio rechazaron mi petición con la excusa de que no había cursado la asignatura de química-física, lo cual era un requisito para trabajar como graduado en esta esfera. (Por desgracia, mi padre, en un exceso de celo, me había empujado hacia la medicina, y la química-física no era necesaria para estudiar en la facultad de medicina, por lo que dediqué mi tiempo a otras asignaturas).

Pero yo no estaba dispuesto a dar mi brazo a torcer.

Cuando llegó el momento de matricularse, en septiembre, fui a Columbia e insistí en entrevistarme con la junta de matriculación. Presidía la junta Harold Urey, que era jefe del departamento de química.

Urey era también algo más. Era un anti-Asimov de cuidado. El problema en mi caso era el ser una persona que se expresaba intensamente y con poca habilidad, una persona irreverente y de lengua afilada, por lo que la mayor parte de la facultad me miraba con desconfianza. (Nadie ponía en duda mi inteligencia, pero, no sé por qué, parecía que eso no contaba mucho).

Pedí a la junta que me permitiera estudiar química-física de modo que cuando hubiera aprobado la asignatura pudiera solicitar de nuevo la situación de estudiante graduado. Esto significaba perder un año, pero no parecía que me quedara otro recurso. Sin embargo, Urey no necesitó ni un momento para considerar el caso. Tan pronto como hube formulado mi petición respondió: «No», y señaló hacia la puerta.

Yo no tenía ganas de ceder, así que conseguí un catálogo de los cursos y encontré un párrafo donde se decía que era posible ser «estudiante graduado no clasificado» para cursar una asignatura pendiente, siempre que se cumplieran ciertos requisitos (todos los cuales se daban en mi caso). Volví al día siguiente con el catálogo en las manos y repetí mi petición. Urey movió negativamente la cabeza y señaló de nuevo la puerta. Yo me mantuve firme y pedí conocer los motivos de su negativa.

En realidad, y puesto que Urey no tenía ningún motivo, excepto una aversión general hacia mí, que él no podía admitir, me dijo que volviera por la tarde. Así lo hice, y Urey me hizo una propuesta.

Se me permitiría seguir el curso de química-física, siempre que cursara toda una lista adicional de asignaturas, las cuales tenían como condición previa conocer química-física. Dicho con otras palabras, en todas estas asignaturas los profesores suponían que los estudiantes ya sabían química-física, y todos ellos conocerían la asignatura, excepto yo.

Además, estaría a prueba, y si no sacaba una B de promedio me echarían sin notas, de modo que, si me iba a otra facultad, Columbia no me entregaría ningún documento confirmando que había aprobado ciertas asignaturas, y me vería obligado a repetirlas. Esto significaría perder una cantidad considerable de derechos de matrícula, y en aquella época yo no tenía dinero que perder.

Ahora entiendo claramente que Urey me estaba haciendo una proposición que en su

opinión yo no aceptaría, con lo que podría librarse de mí de una vez para siempre. Sin embargo, no valoró lo suficiente mis capacidades. Acepté la oferta sin vacilar. Luego acabé obteniendo una B de promedio, salí de la situación de prueba y pude acabar con éxito mi trabajo de graduado.

Desde entonces me ha resultado siempre difícil recordar a Urey con afecto, a pesar de que en política era de mi bando. (En 1940, cuando en la facultad la mayoría llevaba chapas en favor de Willkie, la de Urey rezaba Roosevelt, el candidato del trabajo). Sin embargo, era un científico de primera categoría, tanto si yo le caía bien como si no, por lo que vale la pena que hablemos de su premio Nobel.

La historia se inicia en 1913, cuando el químico inglés Frederick Soddy (1877-1956) presentó por primera vez argumentos de peso apoyando la idea de que los distintos átomos de un elemento concreto no tienen que ser necesariamente idénticos, sino que pueden existir en dos o más variantes, que Soddy llamó «isótopos».

Era evidente ya de entrada que los isótopos de un elemento concreto no diferían en sus propiedades químicas. Sin embargo los trabajos de Soddy demostraron claramente que diferían en su masa.

Dos años antes del anuncio de Soddy, el físico nacido en Nueva Zelanda, Ernest Rutherford (1871-1937), con quien había trabajado Soddy, había expuesto la idea del núcleo atómico, que los físicos hicieron suya rápidamente.

Según este concepto, el átomo contiene un diminuto núcleo pesado rodeado por un cierto número de electrones. Es el número y disposición de los electrones lo que rige las propiedades químicas, por lo que es evidente que los isótopos de un elemento determinado deben tener números y disposiciones idénticas de electrones, pues de lo contrario sus propiedades químicas no serían idénticas. Esto significa que la diferencia que distingue a los isótopos tiene que residir en el núcleo.

En 1914, Rutherford presentó sus motivos para suponer que el núcleo más simple, el de hidrógeno, está formado por una única partícula, a la que denominó «protón», y que los núcleos más complicados están formados por aglomeraciones de protones. Cada protón tiene una masa 1836 veces superior a la del electrón, pero su carga eléctrica es exactamente de la misma magnitud, aunque de naturaleza opuesta. La carga del protón es +1, la del electrón, -1.

En un átomo corriente, que es eléctricamente neutro, el núcleo debe contener el número justo de protones necesarios para igualar el número de electrones exteriores al núcleo. Así, el átomo de uranio, que tiene 92 electrones fuera del núcleo, debe tener 92 protones en su interior.

Sin embargo el núcleo de uranio tiene una masa 238 veces superior a la de un protón. Para resolver esta anomalía, los físicos de la época (que sólo conocían como partículas subatómicas los protones y los electrones) supusieron que, además de protones, el núcleo debía de contener pares protón-electrón. Un par protón-electrón tendría aproximadamente la masa de un protón (puesto que el electrón es tan ligero que su masa apenas cuenta). Además, puesto que las cargas eléctricas de protones y electrones se anulan mutuamente, un par protón-electrón tiene una carga eléctrica nula.

Por lo tanto, podría ser que un núcleo de uranio estuviera constituido por 92 protones más 146 pares protón-electrón. La masa total sería 238 veces la de un solo protón, con lo que el «peso atómico» del uranio resulta ser 238. Puesto que el núcleo de uranio tiene una carga eléctrica positiva igual a la de 92 protones, el «número atómico» del uranio es 92.

Resultó que el concepto de pares protón-electrón dentro del núcleo no estaba justificado en la realidad. El par estaba formado por dos partículas separadas, y algunas propiedades nucleares dependían del número total de partículas en el núcleo. Estas propiedades nucleares no sólo podían actuar adecuadamente si se sustituían los pares protón-electrón por partículas únicas. La partícula única debía reproducir las propiedades del par protón-electrón, de modo que tendría la masa aproximada de un protón y carecería de carga eléctrica.

Esta partícula, muy presente en las hipótesis del decenio de 1920, era difícil de captar porque carecía de carga. No se descubrió hasta 1932, por obra del físico inglés James Chadwick (1891-1974). Chadwick llamó «neutrón» a esta partícula, que sustituyó inmediatamente el par protón-

electrón. Así pues, el átomo de uranio puede considerarse formado por 92 protones y 146 neutrones.

Durante el decenio de 1920 los físicos utilizaron los pares protón-electrón para explicar la naturaleza de los isótopos, aunque para no confundir a mi amable lector hablaré únicamente de neutrones, aun siendo un anacronismo utilizar esta palabra para hechos anteriores a 1932.

Los núcleos de todos los átomos de uranio deben tener 92 protones. Cualquier desviación con respecto a este número significa que el número de electrones fuera del núcleo tiene que ser distinto de 92. Esto cambiaría las propiedades químicas del átomo, que ya no sería uranio. Sin embargo, ¿qué sucede si cambiamos el número de neutrones? Este cambio no alterará la carga del núcleo ni el número de electrones fuera del núcleo, o sea que el uranio continuará siendo uranio. Sin embargo la masa del núcleo cambiará.

De esta manera, en 1935 el físico canadiense-estadounidense Arthur Jeffrey Dempster (1886-1950) descubrió átomos de uranio que, además de los 92 protones del núcleo, contenían 143 neutrones (no 146). En este caso el número atómico continúa siendo 92, pero el número másico es 92 + 143 = 235. Tenemos, por lo tanto, uranio-238 y uranio-235, y éstos son los dos isótopos de uranio presentes en la naturaleza. Desde luego no están presentes en cantidades iguales, pero no hay nada en la teoría de los isótopos que imponga esta condición. En la naturaleza, por cada átomo de uranio-235 hay 140 átomos de uranio-238.

Soddy elaboró su concepto de isótopo a partir de un estudio detallado de los átomos radiactivos y de su modo de desintegración. Sin embargo éste fue un punto débil de su teoría. La radiactividad se había descubierto en 1896 y al principio parecía afectar únicamente a átomos de masa muy grande, átomos que se desintegraban espontáneamente en átomos algo más ligeros. Parecía que los átomos radiactivos eran muy diferentes de los átomos normales, y podía pensarse que quizá los isótopos sólo existían en estos elementos radiactivos.

El uranio (número atómico 92) y el torio (número atómico 90) eran los dos únicos elementos radiactivos presentes de modo apreciable en la naturaleza, y su desintegración acababa finalmente con la formación del elemento estable plomo (número atómico 82). Sin embargo el uranio se desintegraba dando una variedad de plomo cuyo núcleo estaba formado por 82 protones y 124 neutrones (plomo-206), mientras que el torio se desintegraba dando un núcleo de plomo de 82 protones y 126 neutrones (plomo-208).

En tal caso, el plomo debe estar formado por lo menos por estos dos isótopos y debe estar presente en la naturaleza como una mezcla de ellos en proporciones variables.

El plomo extraído de minerales de torio debe ser rico en plomo-208 y debe tener un peso atómico superior al del plomo extraído de los minerales de uranio. En 1904, Soddy determinó cuidadosamente el peso atómico de plomos de distintas procedencias y demostró que había una diferencia fácilmente detectable en su peso atómico.

El hecho de que el plomo, un elemento estable, estuviera formado por isótopos no era en sí mismo una ampliación importante del concepto, porque los isótopos del plomo se deben a la desintegración de elementos radiactivos. Lo que se necesitaba era una demostración de que había isótopos en elementos que no tenían nada que ver con la radiactividad.

Los elementos estables (aparte del plomo) no presentan diferencias importantes en sus pesos atómicos si se obtienen de procedencias distintas o si se purifican con métodos distintos. Esto puede deberse a que todos sus átomos son iguales o bien a que siempre están formados por la misma mezcla de isótopos.

Sin embargo, ¿qué pasaría si pudiéramos separar los isótopos (suponiendo que hubiera isótopos que separar)?

Un sistema corriente para separar dos sustancias distintas es aprovechar las diferencias en sus propiedades químicas.

El sistema no sirve aquí porque los isótopos de un elemento determinado son esencialmente idénticos en sus propiedades químicas.

No obstante, dos isótopos de un elemento determinado tienen masa distinta. Supongamos que obligamos a pasar a gran velocidad a través de campos electromagnéticos una mezcla formada por

núcleos de estos isótopos. (Los físicos sabían cómo hacerlo ya en la época de Soddy). Puesto que los núcleos están cargados eléctricamente, interaccionarán con el campo y seguirán una trayectoria curva. Los núcleos de mayor masa tienen una inercia superior y por lo tanto se curvarán algo menos. Si interceptamos las trayectorias de los núcleos en el curso de su movimiento con una placa fotográfica, la fotografía, una vez revelada, nos mostrará una doble curva, puesto que cada isótopo seguirá su propia trayectoria, ligeramente distinta.

En 1912, el físico inglés Joseph John Thomson (1856-1940) observó esta trayectoria ligeramente duplicada en los núcleos en movimiento del elemento neón. Thomson no estaba muy seguro del significado del fenómeno, pero al año siguiente, cuando se anunció el concepto de isótopo, cabía la posibilidad de que hubiera descubierto la existencia de dos isótopos de neón.

Uno de los ayudantes de Thomson, Francis William Aston (1877-1945), se dispuso a estudiar la cuestión seriamente. Diseñó un aparato en el que el campo electromagnético obligaba a todos los núcleos de una masa determinada a caer sobre un punto de la película fotográfica. El aparato recibió el nombre de «espectrógrafo de masas». Las masas de los isótopos podían calcularse a partir de la posición de los rastros resultantes, y a partir de la intensidad de estos rastros podían calcularse las cantidades relativas.

En 1919, Aston pudo separar los núcleos de neón y demostrar que el elemento estaba formado por dos isótopos: neón-20 y neón-22. Esto explicaba que el peso atómico del neón fuera 20,2. (En años posteriores, cuando se perfeccionó el espectrógrafo de masas, se descubrió un tercer isótopo: el neón-21. Sabemos actualmente que de cada mil átomos de neón, 909 son de neón-20, 88 de neón-22 y 3 de neón-21).

Aston descubrió con este trabajo con el espectrógrafo de masas que algunos elementos estables estaban formados por dos o más isótopos, y esto fijó definitivamente el concepto de isótopo formulado por Soddy. Nada ha pasado desde entonces que permita ponerlo en duda.

Cuando el peso atómico de un elemento se diferencia bastante de un número entero, podemos estar seguros de que este elemento está formado por dos o más isótopos, cuyas masas y cantidades relativas dan en promedio el peso atómico.

Algunos elementos tienen pesos atómicos que son casi exactamente números enteros, y en tal caso es muy posible que todos los átomos de este elemento tengan realmente la misma masa. Por ejemplo, el flúor consta únicamente de flúor-19; el sodio, de sodio-23; el aluminio, de aluminio-27; el fósforo, de fósforo-31; el cobalto, de cobalto-59; el arsénico, de arsénico-75; el yodo, de yodo-127; el oro, de oro-197, y así sucesivamente.

En el caso de los elementos que sólo contienen una especie nuclear (en total 19 elementos) es difícil hablar de un «isótopo», puesto que el término significa que hay dos o más variedades de un mismo elemento. Por este motivo, el químico estadounidense Truman Paul Kohman (1916) propuso en 1947 que cada variedad atómica se llamara «nucleido». Este término se utiliza frecuentemente, pero dudo que llegue a sustituir y eliminar la palabra «isótopo», que se ha incorporado ya demasiado profundamente al lenguaje. Además, los físicos han aprendido a crear en el laboratorio isótopos que no existen en la naturaleza. Estos isótopos artificiales son todos radiactivos, por lo que se denominan «radioisótopos». Puede decirse con seguridad que cualquier elemento que consta de un único nucleido estable tiene un determinado número de radioisótopos que pueden formarse. No hay ningún elemento que conste de un único nucleido si contamos los posibles radioisótopos, y por lo tanto, si hablamos con propiedad, el término «isótopo» puede utilizarse siempre. Debemos decir solamente que el flúor, por ejemplo, tiene un único isótopo estable, lo que indica también la presencia de radioisótopos.

Es cierto que algunos elementos tienen pesos atómicos muy próximos a números enteros, y sin embargo están constituidos por algunos isótopos estables. Lo que sucede en estos casos es que el elemento está constituido de modo predominante por uno de estos isótopos, siendo los demás muy raros, con lo que contribuyen poco al peso atómico.

Un ejemplo sorprendente de esto fue descubierto en el año 1929. El químico estadounidense William Francis Giauque (1895-1982) utilizó el espectrógrafo de masas para demostrar que el oxígeno estaba formado por tres isótopos: oxígeno-16, oxígeno-17 y oxígeno-18, todos estables. Sin

embargo, de estos tres isótopos, el oxígeno-16 es, con mucho, el más común. De cada 10.000 átomos de oxígeno, 9.976 son de oxígeno-16, 20 de oxígeno-18 y 4 de oxígeno-17.

Esto sorprendió mucho a los químicos, puesto que desde hacía cien años habían estado fijando arbitrariamente el peso atómico del oxígeno en 16,0000 y se tomó el oxígeno como patrón para medir todos los demás pesos atómicos. Después de 1929, esta escala se denominó de los «pesos atómicos químicos», mientras que los físicos utilizaron la masa del oxígeno-16 = 16,0000 como patrón para el «peso atómico físico». En 1961, los químicos y los físicos llegaron a un compromiso y decidieron utilizar como patrón el carbono-12 = 12,0000. Esto se aproximaba mucho a la tabla de pesos atómicos químicos.

El patrón oxígeno = 16,0000 podría haberse mantenido como norma si hubiésemos estado seguros de que la mezcla de isótopos de cada elemento se mantiene exactamente igual en todo momento y en toda circunstancia. Si los diferentes isótopos de un elemento tuvieran exactamente las mismas propiedades químicas, la mezcla sería siempre idéntica, pero no es así. Las propiedades químicas son esencialmente las mismas, pero hay pequeñas diferencias.

Cuando participan en cambios físicos o químicos, los átomos de más masa son siempre algo más inertes que los de menos masa. Existe pues la posibilidad de encontrar de vez en cuando mezclas ligeramente diferentes.

En 1913, el químico estadounidense Arthur Becket Lamb (1880-1952) preparó varias muestras de agua de distintas procedencias y las purificó extraordinariamente. Al final cada muestra contenía únicamente moléculas de agua con cantidades pequeñas y despreciables de impurezas.

Lamb determinó luego la densidad de cada muestra con la mayor sensibilidad posible en aquella época.

Si todas las moléculas de agua fueran absolutamente idénticas, las densidades de las muestras hubiesen sido las mismas, dentro de los límites de la medición. Sin embargo las densidades variaban en intervalos cuatro veces superiores a estos límites. Era una variación con respecto a la media de menos de una millonésima, pero era real, y esto significaba que no todas las moléculas de agua eran idénticas. Cuando, en el año siguiente, se introdujo el concepto de isótopo, pudo interpretarse el resultado en el sentido de que el oxígeno o el hidrógeno, o ambos, estaban formados por una mezcla de isótopos.

La molécula de agua está formada por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno (H_20). Si todas las moléculas de agua contuvieran un átomo de oxígeno-18, la densidad de esta agua sería aproximadamente un doce por ciento superior a la del agua corriente, formada por oxígeno-16. La probabilidad de tener agua que sólo contenga oxígeno-18 es desde luego prácticamente nula, pero las pequeñas variaciones, debidas a la procedencia del agua y a los métodos de purificación, explicarían fácilmente los resultados de Lamb.

El hecho de que un isótopo de mayor masa se comporte con mayor inercia que otro de menos masa sugiere un método para separar los dos isótopos. Ya en 1913, Aston había hecho pasar gas neón a través de un tabique poroso. Aston esperaba que el isótopo de menos masa (si existía) pasaría con mayor rapidez, de modo que la muestra que pasara primero tendría una proporción superior a la normal de isótopos de mayor masa. Aston repitió el proceso una y otra vez y al final consiguió una muestra de neón tan disminuida en el isótopo de menor masa, que su peso atómico era de 20,15 en lugar del peso normal, 20,2. También obtuvo una muestra de neón que tenía un peso atómico de 20,28 porque estaba enriquecida en el isótopo de más masa.

(Este y otros métodos se han utilizado para aumentar el porcentaje de un determinado isótopo en una muestra de un elemento. El ejemplo más espectacular fueron los procedimientos de enriquecimiento utilizados en la fabricación de la bomba de fisión nuclear para obtener uranio con una proporción de uranio-235 superior a la normal). Se plantea ahora la cuestión del hidrógeno y de sus posibles isótopos. El peso atómico del hidrógeno es algo inferior a 1,008, valor muy próximo a un número entero. Esto significa que el hidrógeno puede estar compuesto por un único isótopo, hidrógeno-1 (con un núcleo formado por un protón y nada más), hidrógeno-2 (con un núcleo formado por un protón más un neutrón), que sólo puede estar presente en cantidades muy pequeñas.

La cantidad de hidrógeno-2 presente sería tan mínima que no era probable captarlo si no se enriquecía una muestra de hidrógeno con este isótopo de más masa. Ya en 1919, el físico alemán Otto Stern (1888-1969) intentó utilizar el método de difusión de Aston con el hidrógeno, pero los resultados fueron negativos. Aston llegó a la conclusión de que el hidrógeno estaba constituido únicamente por hidrógeno-1. Este error se debió a fallos de su técnica experimental, que en aquella época pasaron inadvertidos, y su informe desalentó posteriores investigaciones en este sentido.

Tampoco sirvió de mucho el espectrógrafo de masas.

Había desde luego algunas marcas que podían deberse a la presencia del hidrógeno-2, pero también podían deberse a la presencia de moléculas de hidrógeno formadas por dos átomos de hidrógeno-1 (H_2).

Sin embargo, cuando se hubieron descubierto los isótopos del oxígeno, en 1929, se pudo determinar con mayor precisión el peso atómico del hidrógeno. Parecía que el peso atómico del hidrógeno era ahora demasiado grande para que pudiera estar formado únicamente por hidrógeno-1. En 1931, dos físicos estadounidenses, Raymond Thayer Birge y Donald Howard Menzel (1901-1976), propusieron que la proporción de un átomo de hidrógeno-2 por cada 4.500 átomos de hidrógeno-1 era suficiente para explicar este peso atómico ligeramente elevado.

Al parecer, este resultado inspiró a mi casi némesis futura, Urey, a intervenir en este dominio. Su primer intento fue detectar rastros de hidrógeno-2 en el hidrógeno.

Consideraciones teóricas le inspiraron la idea de que si se calentaban el hidrógeno-2 y el hidrógeno-1 emitirían radiación en longitudes de onda ligeramente distintas.

Estas diferencias espectrales deben observarse en todos los isótopos, pero en general son tan pequeñas que resulta muy difícil hacerlo. Sin embargo las diferencias entre los isótopos no aumentan proporcionalmente a la diferencia de sus masas, sino a la razón entre ellas. Así, por ejemplo, el uranio-238 tiene una masa superior en tres unidades al uranio-235, pero este último tiene una masa que es sólo el 1,28 % superior a la del primero.

Sin embargo la proporción entre masas aumenta rápidamente a medida que la masa total disminuye. Así, el oxígeno-18 es el 12,5 % más pesado que el oxígeno-16, aunque la diferencia absoluta sea sólo de dos unidades. En cuanto al hidrógeno-2, su masa es el 100% superior a la del hidrógeno- 1, aunque la diferencia sea de sólo una unidad.

Por lo tanto, la diferencia espectral entre los dos isótopos del hidrógeno debería ser mucho mayor que la existente entre dos isótopos de cualquier otro elemento, y Urey pensó que la diferencia espectral entre los dos isótopos de hidrógeno se captaría mejor que la diferencia de masas detectable con el espectrógrafo de masas.

Urey calculó la longitud de onda de las líneas espectrales que podían esperarse del hidrógeno-2 y luego estudió con una red de difracción muy grande la luz del hidrógeno calentado. Descubrió unas líneas muy débiles exactamente donde debían estar.

Urey podía haberse precipitado a publicar su descubrimiento para hacerse con el mérito de haber descubierto el hidrógeno-2, pero era un científico metódico y honrado, y comprendió que las líneas muy débiles que había captado podían deberse a impurezas del hidrógeno o a fallos diversos de su equipo.

Las líneas eran débiles porque la cantidad de hidrógeno-2 presente en el hidrógeno era muy pequeña. Por lo tanto, lo que debía hacer era aplicar medidas que aumentaran el porcentaje de hidrógeno-2 y ver si aumentaba la intensidad de las supuestas líneas de hidrógeno-2 en el espectro.

Urey no utilizó la difusión, el método que había fallado a Stern. Se le ocurrió, en cambio, que si licuaba el hidrógeno y lo dejaba evaporar lentamente, los átomos de hidrógeno-1, por tener menos masa, se evaporarían con más facilidad que los átomos de hidrógeno-2. Por lo tanto, si comenzaba con un litro de hidrógeno líquido y dejaba que se evaporara el 99 % de él, el mililitro restante podía ser considerablemente más rico en hidrógeno-2 que el hidrógeno de partida.

Así lo hizo, y le dio resultado. Cuando hubo evaporado el pequeño resto de hidrógeno, lo hubo calentado y estudiado su espectro, descubrió que las líneas supuestas de hidrógeno-2 se habían reforzado seis veces. Urey, a partir de sus cálculos iniciales sobre el tema, decidió que había un

átomo de hidrógeno-2 por cada 4.500 átomos de hidrógeno-1, tal como habían predicho Birge y Menzel. Sin embargo, trabajos posteriores demostraron que la estimación era exagerada. En realidad hay un átomo de hidrógeno-2 por cada 6.500 átomos de hidrógeno-1.

Urey presentó sus resultados en una charla de diez minutos en una reunión de la Sociedad Americana de Física a fines de diciembre de 1931. Sus informes escritos definitivos se publicaron en 1932.

El descubrimiento del hidrógeno-2 resultó tener una enorme importancia. La gran diferencia porcentual entre las masas de hidrógeno-1 y de hidrógeno-2 permitió separar estos dos isótopos con mucha mayor sencillez que cualesquiera otros. Pronto se consiguieron muestras muy puras de hidrógeno-2 («hidrógeno pesado»), así como muestras de agua cuyas moléculas contenían hidrógeno-2 en lugar de hidrógeno-1 («agua pesada»).

Los trabajos con el hidrógeno pesado y con el agua pesada hicieron pensar que el isótopo se merecía un nombre especial. Urey propuso «deuterio», de la palabra griega que significa «segundo», puesto que si se ordenan todos los isótopos por orden creciente de masa, el primero será el hidrógeno-1, el más ligero, y le seguirá el hidrógeno-2, el segundo isótopo más ligero posible.

Era ya muy evidente en 1934 que el afán demostrado por químicos y físicos por ponerse a trabajar con el hidrógeno-2 produciría progresos notables en la ciencia. (Y así fue, como explicaré en el siguiente capítulo). No es de extrañar por lo tanto que en 1934 Urey recibiera el premio Nobel de química.

Y no sólo esto. Urey no se durmió sobre sus laureles y continuó llevando a cabo trabajos importantes sobre los orígenes de la vida, la química planetaria, etcétera. Quizá yo no le gusté y quizá él no me gustó a mí; de todos modos, Urey fue un gran científico.

2. Los Marcadores De Las Moléculas

Hace un par de semanas me llamó por teléfono una mujer joven preguntándome cómo podía conseguir un ejemplar de In Memory Yet Green *(el primer volumen de mi autobiografía).*

Le propuse que acudiera a la biblioteca y ella contestó que desde luego tenía ya un ejemplar de la biblioteca, pero que la bibliotecaria estaba molesta porque renovaba continuamente la solicitud, y ella sentía grandes tentaciones de robar el libro, aunque esta acción no concordaría con su código de conducta. ¿Qué podía sugerirle?

Creo que no tenía sentido proponerle que buscara la obra por las librerías de segunda mano, porque ni siquiera un tonto lo es hasta el punto de que quiera renunciar a uno de mis libros cuando lo tiene en sus manos... y ya de entrada el número de tontos que pueden pensar en comprar un libro mío es muy reducido.

Así que le dije:

—¿Por qué quiere quedarse con la obra, si ya leyó el ejemplar de la biblioteca?

Ella me contó, más o menos, lo siguiente:

—Soy psicóloga —dijo—. Con frecuencia debo hablar con chicos adolescentes que tienen dificultades en la vida.

Me gustaría, por lo tanto, escribir una biografía de la primera etapa de su vida, destinada a alumnos de enseñanza secundaria, para poder recomendar el libro a los jóvenes que acuden a hablar conmigo.

—Pues vaya... —le contesté—. Acaba de decirme que estos adolescentes tienen algunas dificultades. ¿Por qué quiere complicarles más la vida pidiéndoles que lean algo sobre mí?

—No les complicaría nada —dijo ella—, sino que les facilitaría las cosas. Tenga en cuenta que estos chicos tienen acné cuando vienen a verme. No son individuos atléticos. Ni enérgicos. Los demás los empujan continuamente de un lado a otro. Se muerden las uñas. Tienen miedo a las chicas. No saben bailar. No saben ir en bicicleta. Se sienten nerviosos entre los demás. Lo único con lo que se sienten seguros son los libros y los deberes escolares.

—Ah —dije—. Supongo que por lo menos serán los primeros de la clase, ¿no es cierto?

—Sí, claro —dijo ella—, pero esto los perjudica, porque los demás los desprecian.

—No comparten la buena y sana estupidez norteamericana, ¿verdad?

—Si lo prefiere de este modo, pues sí.

—Bueno, ¿y usted qué hace por ellos?

—Les hablo de usted.

—¿De mí?

—Sí, les explico que de joven usted era exactamente como ellos y que ahora basta con verle: rico, famoso, una persona que ha triunfado. Es decir, que si puedo escribir una biografía sobre usted que atraiga al joven adolescente, les sería muy útil, renovaría sus esperanzas, les mostraría un ejemplo a imitar. Doctor Asimov, tenga presente que usted es un modelo de conducta para empollones.

Cuando oí aquello me quedé sin habla durante un intervalo perceptible de tiempo, pero ¿qué podía hacer? Aquellos adolescentes estaban gravemente perjudicados por su falta de estupidez y por su pervertido afán de aprender.

¿Dejaría que se pudrieran solos?

—Pase por mi casa —le dije— y le daré un ejemplar de la obra.

Así lo hizo, y así lo hice yo. Y también autografié el volumen.

Cuando estos jóvenes hayan leído mi autobiografía es muy posible que se apunten a mis obras a fin de satisfacer en la misma fuente de la empolladura su ardorosa sed de conocimientos.

En tal caso, lo mejor será que continúe produciendo obras... y ahí va una más.

No exactamente, amable lector. Yo era un individuo enérgico, y no me ponía en absoluto nervioso cuando estaba en compañía.

Y sobre todo, nunca me dieron miedo las chicas.

Voy a continuar lo que dejé colgado en el primer capítulo, cuando estaba hablando del hidrógeno-2 (llamado también «deuterio» o «hidrógeno pesado»). Lo haré, como es mi costumbre, aprovechando una digresión.

Sabemos que las cosas cambian cuando pasan a través de nuestros cuerpos, y estos cambios reciben el nombre de «metabolismo», nombre que procede de unas palabras griegas que significan (más o menos) «cambio al pasar». El aire que inhalamos es pobre en dióxido de carbono y rico en oxígeno; pero el aire que exhalamos es bastante más rico en el primer gas y más pobre en el segundo. Ingerimos comida y bebida y eliminamos heces y orina, y parte de lo comido se convierte después de su absorción en huesos, músculos y otros tejidos, cuando crecemos; y a menudo se convierte en grasa si dejamos de crecer.

Sin embargo lo que vemos a simple vista en todo este proceso es únicamente la materia de partida y la materia final, y esto no nos dice gran cosa, puesto que no podemos captar lo que pasa entre medio. Ver sólo el principio y el final provoca reflexiones como la siguiente de la escritora danesa Isak Dinesen (que era una mujer, a pesar del reverenciado nombre propio que puso en su seudónimo):

«¿Qué es un hombre, si nos paramos a pensarlo, aparte de un diminuto aparato, de una máquina ingeniosa para convertir, con arte infinito, el vino tinto de Shiraz en orina?» (La cita es de *Siete cuentos góticos*, obra publicada en 1934, y si el nombre de Shiraz nos intrigó, es el de una ciudad iraní que sin duda era famosa por su vino en la época de los grandes poetas medievales persas). Como es lógico, a medida que la química orgánica fue desarrollándose, a lo largo del siglo XIX, se hizo posible analizar los alimentos y los desechos, y se vio que había en la comida «aminoácidos» que contenían nitrógeno con moléculas de una cierta estructura, y que en la orina había urea» con nitrógeno, y que en las heces había «indol» y «scatol». Estos resultados nos indicaron algo sobre el «metabolismo del nitrógeno», pero en su mayor parte continuaban refiriéndose al principio y al final del proceso. Todavía seguíamos ignorando el amplio territorio intermedio.

Sin embargo, en 1905 se consiguió un importante avance gracias a la labor de un bioquímico inglés, Arthur Harden (1865-1940). Este científico estaba estudiando, junto con su discípulo William John Young, el proceso de descomposición por la levadura de la simple glucosa del azúcar.

La glucosa se convierte en dióxido de carbono y agua, pero la enzima que provoca el proceso no actúa sin la presencia de un poco de fosfato inorgánico (un conjunto de átomos que contienen un átomo de fósforo y tres átomos de oxígeno). Harden razonó que el átomo de fósforo participaba en cierto modo en la descomposición, y después de analizar cuidadosamente la mezcla resultante de la descomposición obtuvo una diminuta cantidad de algo que identificó como una molécula de azúcar con dos grupos de fosfato unidos a ella.

Esta molécula se llama a veces «éster de Harden y Young», en honor de sus descubridores, pero el nombre más correcto es «difosfato de fructosa», y está claro que en la descomposición de la glucosa el difosfato de fructosa constituye un compuesto intermedio. Fue el primer «producto intermedio del metabolismo» que pudo aislarse, y Harden fundó de este modo el estudio del «metabolismo intermedio».

Por este y otros trabajos, Harden recibió, compartido, el premio Nobel de química de 1929.

Otros bioquímicos siguieron los pasos de Harden y localizaron otras sustancias intermedias del metabolismo, y a lo largo de la siguiente generación consiguieron desentrañar el curso del metabolismo de varios componentes importantes de los tejidos.

Estos estudios eran valiosos pero insuficientes. Las sustancias intermedias constituían hitos estacionarios, por así decirlo, a lo largo del camino del metabolismo. Eran sustancias siempre presentes en pequeñas cantidades, puesto que se transformaban pasando a la siguiente etapa casi con la misma rapidez con que se formaban, y siempre cabía la posibilidad de que existieran sustancias intermedias en concentraciones tan pequeñas que no pudieran detectarse. Además, parecía imposible determinar los detalles del cambio de una sustancia intermedia a la siguiente.

La situación era parecida a estar observando bandadas considerables de aves desde una distancia tan grande que no permitiera ver a los animales por separado. Podemos apreciar el movimiento de la bandada en su conjunto y sus cambios de posición, pero es imposible enterarse de los desplazamientos y torbellinos que tienen lugar dentro de la bandada.

Sería útil que algunas aves tuvieran colores distintos de los de la mayoría, para así poder seguir las manchas de color sobre el fondo general. O también podríamos capturar unas cuantas aves salvajes, ponerles en la pata algún aparatito que enviara señales de radio y luego soltarlas.

Al observar los lugares de emisión de las señales de radio captadas, podríamos estudiar los movimientos internos de la bandada.

Al estudiar el metabolismo, nos ocupamos, por así decirlo, de bandadas formadas por moléculas de glucosa.

Grandes bandadas. Incluso una décima de miligramo de glucosa, una mancha apenas visible a simple vista, está formada por casi mil trillones de moléculas. Todas estas moléculas eran, según las creencias químicas del siglo XIX, exactamente iguales. No parecía que hubiera distinciones naturales entre ellas y los químicos no tenían ningún método para introducir distinciones artificiales.

Sin embargo, el químico alemán Franz Knoop (1875-1946) imaginó un sistema. En 1904 estaba trabajando con ácidos grasos, algunos de los cuales pueden obtenerse a partir de la grasa almacenada en los tejidos. Cada ácido graso está formado por una cadena larga y recta de átomos de carbono, y en un extremo de la cadena hay un «grupo carboxilo» de carácter ácido consistente en un átomo de carbono, un átomo de hidrógeno y dos átomos de oxígeno (COOH).

Un rasgo peculiar de los ácidos grasos presentes en los organismos es que el número total de átomos de carbono que contienen (contando los átomos de carbono en el grupo carboxilo) es siempre un número par. El número de átomos de carbono en los ácidos grasos más comunes es de dieciséis o dieciocho, pero puede haber otros números pares, mayores o menores.

Knoop tuvo la idea de unir un «anillo de benceno» a la cadena del ácido graso, situándolo en el extremo opuesto al grupo carboxilo. El anillo de benzeno está formado por seis átomos de carbono en círculo, con un átomo de hidrógeno enlazado a cada uno de ellos. Es una agrupación de átomos muy estable y no es probable que sufra transformaciones en el cuerpo. La idea de Knoop era que el ácido graso unido al benzeno sufriría más o menos el mismo destino que el ácido graso original, y que el producto final podría conservar todavía el anillo de benzeno, lo que permitiría identificarlo. En otras palabras, el ácido graso tendría una etiqueta o marcador que se conservaría y que permitiría identificar el producto final.

Ésta fue la primera aplicación de un compuesto marcado para elucidar un problema bioquímico.

Knoop descubrió que si añadía ácidos grasos marcados a la dieta acababa recuperando el anillo de benzeno en la grasa del animal y que una cadena de dos carbonos estaba unida al anillo, formando parte del carbono exterior de un grupo carboxilo. El nombre de este compuesto es «ácido fenilacético», y Knoop obtuvo el mismo resultado sin que influyera en él la longitud de la cadena carbónica del ácido graso utilizada inicialmente.

Knoop dio luego el siguiente paso, que consistió en utilizar un ácido graso con un número impar de átomos de carbono en la cadena. Estos ácidos no se encontraban en los seres vivos, pero

podían sintetizarse en el laboratorio.

Tenían propiedades muy parecidas a las de los ácidos grasos con un número par de átomos de carbono, y no había motivos claros que impidieran su presencia en el tejido vivo.

Knoop marcó los ácidos grasos impares con el anillo de benzeno y los dio de comer a animales. No pareció que los perjudicara en absoluto la cadena de carbonos impares; cuando Knoop estudió la grasa, descubrió que el anillo de benzeno había acabado unido a un grupo atómico que contenía sólo un átomo de carbono y que este átomo de carbono formaba parte de un grupo carboxilo. El compuesto se llama «ácido benzoico», y Knoop descubrió que el ácido benzoico aparecía por larga que fuera la cadena de carbonos impares utilizada al principio.

Knoop interpretó sus descubrimientos del siguiente modo: cada ácido graso se descomponía por la eliminación de un grupo de dos carbonos en el extremo del carboxilo.

Luego, el extremo cortado se «curaba» mediante su conversión en un grupo carboxilo. A continuación se recortaba otro grupo de dos carbonos, y así sucesivamente. De este modo un ácido graso de dieciocho carbonos, al quedar recortado, daba otro ácido graso de dieciséis carbonos, luego otro de catorce, y así hasta llegar a un grupo de dos carbonos. El grupo final de dos carbonos no podía sufrir el mismo destino porque estaba unido directamente al anillo de benzeno, y el cuerpo carecía de medios para recortarlo y separarlo del anillo.

Es lógico suponer que si se recorta un ácido graso quitándole dos carbonos a la vez, el ácido graso podrá formarse también invirtiendo el proceso. Si empezamos con un ácido graso de dos carbonos (el ácido acético), que se sabe que existe en el cuerpo, y le añadimos dos carbonos a la vez, pasaremos de dos a cuatro, luego a seis, a ocho, y así sucesivamente. Esto explica que sólo se formen en los tejidos cadenas de ácidos grasos con un número par de carbonos.

(Es evidente que Knoop estaba trabajando todavía con sustancias iniciales y finales. Todavía no había localizado definitivamente ninguna sustancia intermedia. Esto quedaría para Harden, al año siguiente). Aquél fue un experimento excelente y eficaz que tenía su lógica. Pero había dos trampas. El marcador de benzeno no daba resultado con ningún otro compuesto importante, y no se descubrió ningún marcador de este tipo. En segundo lugar, el grupo de benzeno no era natural, y podía distorsionar los procesos metabólicos normales, dando resultados que no serían realmente precisos. Se necesitaba algo mejor; algo que actuara de marcador en cualquier lugar, pero que fuera completamente natural y que no se interfiriera de ningún modo imaginable con el metabolismo normal.

Más tarde, en 1913, se produjo el descubrimiento de los isótopos, como ya he dicho en el primer capítulo. Esto significaba que las moléculas diferían entre sí por su contenido isotópico. Consideremos la molécula de glucosa que está formada por seis átomos de carbono, doce átomos de hidrógeno y seis átomos de oxígeno. Los átomos de carbono pueden ser carbono-12 o carbono-13; los átomos de hidrógeno pueden ser hidrógeno-1 o hidrógeno-2; y los átomos de oxígeno pueden ser oxígeno-16, oxígeno-17 u oxígeno-18.

Esto significa que hay no menos de veinticinco billones de especies isotópicas posibles de moléculas de glucosa, y que en teoría todas ellas podrían existir en una muestra de glucosa de tamaño suficiente.

Sin embargo estas distintas especies no existen en números iguales, porque tampoco existen los isótopos en números iguales. En el caso del hidrógeno, el 99,985 % de sus átomos son hidrógeno-1; en el carbono, el 98,89% son carbono-12; en el oxígeno, el 99,759% son oxígeno-16.

Esto significa que en el caso de la glucosa, el 92% de todas sus moléculas está constituido únicamente por los isótopos predominantes: carbono-12, hidrógeno-2 y oxígeno-16. Sólo en el 8% restante se encuentra alguno de los isótopos de más masa y relativamente raros.

La variedad isotópica más rara de glucosa estaría formada exclusivamente por carbono-13, hidrógeno-2 y oxígeno-17 (este último es el isótopo menos común del oxígeno).

Este tipo de molécula de glucosa se daría en la naturaleza sólo entre cada 1.078 moléculas. Esto significa que si el universo entero estuviera formado exclusivamente de glucosa, habría una probabilidad entre mil, aproximadamente, de encontrar una sola molécula de esta rarísima variedad.

A pesar de la enorme cantidad de especies isotópicas, la situación no mejoró. Las especies isotópicas de glucosa están totalmente mezcladas y siempre en la misma proporción. Es cierto que muestras diferentes de glucosa presentarán, debido a variaciones casuales, concentraciones de especies isotópicas algo superiores o algo inferiores a lo que cabría esperar de un promedio auténtico. Sin embargo, estas variaciones son tan pequeñas en comparación con el gran número de moléculas presentes, que pueden despreciarse.

Pero supongamos que aprovechamos la mayor inercia de los isótopos de masa superior y dejamos, por ejemplo, que el dióxido de carbono se difunda a través de alguna separación permeable. Las moléculas que tuvieran átomos de mayor masa, como carbono-13 u oxígeno-18, se retrasarían. Si repetimos una y otra vez la difusión, acabaremos con muestras de dióxido de carbono más ricas en carbono-13 (y también algo más ricas en oxígeno-18). Del mismo modo, la ebullición o electrólisis del agua nos dejaría muestras con más hidrógeno-2, mientras que el tratamiento del amoníaco nos podría dar muestras con concentraciones más elevadas del isótopo raro nitrógeno-15. (El isótopo común del nitrógeno es el nitrógeno-14). De estos cuatro elementos, que sin duda son los más importantes para la química de la vida, el nitrógeno-15 tiene una masa superior en 7,1% a la del nitrógeno-14, el carbono-13 tiene una masa 8,3% superior a la del carbono-12 y el oxígeno-18 tiene una masa 12,5% superior a la del oxígeno-16. Comparemos esto con el hidrógeno-2, cuya masa es el 100% superior a la del hidrógeno-1.

Cuando se descubrió el hidrógeno-2, sucedió que pronto pudo disponerse de este isótopo para los experimentos metabólicos. Fue el primer isótopo que pudo utilizarse, pero más tarde, cuando se perfeccionaron las técnicas de separación, pudieron utilizarse también otros isótopos relativamente raros.

En 1933, un bioquímico alemán, Rudolf Schoenheimer (1898-1941), emigró a Estados Unidos. (Era judío, y no vio muy claro quedarse en Alemania después de la subida al poder de Adolf Hitler aquel año). En Estados Unidos consiguió un puesto en la Universidad de Columbia, pudo trabajar en estrecha colaboración con Urey, y consiguió de este modo una cantidad de hidrógeno-2.

Schoenheimer pensó que el hidrógeno-2 podía utilizarse para marcar compuestos orgánicos. Los ácidos grasos no saturados, formados por moléculas que contienen una cantidad de átomos de hidrógeno inferior a la máxima, tienen la capacidad de añadir a su molécula dos átomos de hidrógeno (o cuatro, o seis, según sea el grado de saturación) y quedar saturados. No importa a los ácidos grasos no saturados que los átomos tomados sean de hidrógeno-1 o de hidrógeno-2, y el producto final podría quedar enriquecido en hidrógeno-2.

El hidrógeno-2 existe en la naturaleza, y por lo tanto una molécula determinada de ácido graso saturado podría contener uno o más isótopos en una situación natural.

Puesto que hay aproximadamente un átomo de hidrógeno-2 por cada 6.500 átomos de hidrógeno-1, y que hay 36 átomos de hidrógeno en una molécula típica de ácido graso, una molécula de ácido graso entre 180 contendrá un átomo de hidrógeno-2, una de cada 32.000 contendrá dos, y una de cada 5.750.000 contendrá tres.

Esta proporción no es muy elevada y es fácil inundar la comida de una rata con ácidos grasos «marcados radiactivamente» que contengan más hidrógeno-2 que el de toda la grasa de su cuerpo. Luego hay que seguir el marcador.

Cuando la rata ha digerido, absorbido y metabolizado la grasa se la puede matar y su grasa puede separarse en sus diferentes ácidos grasos. Estos ácidos pueden oxidizarse y convertirse en dióxido de carbono y agua, y el agua puede analizarse con un espectrógrafo de masas para determinar la cantidad de hidrógeno-2 que contiene. Todo lo que supere un nivel natural muy pequeño procederá de la grasa marcada que dimos a la rata.

A partir de 1935, Schoenheimer, en colaboración con David Rittenberg (1906), inició una serie de experimentos de este tipo con ratas.

Los animales, al ingerir la comida, incorporan partes de esta comida en el cuerpo, utilizan parte de ella para formar sus propios tejidos y oxidizan otras porciones para conseguir la energía

que les permita llevar a cabo sus distintas funciones. La comida sobrante puede almacenarse en forma de grasa, y sirve de reserva de energía para cuando los animales no consigan comida suficiente.

¿Por qué la grasa? Porque representa la forma más concentrada de almacenaje de energía para el cuerpo de los animales. Una cantidad dada de grasa libera, al oxidarse, dos veces más energía que la misma cantidad de hidratos de carbono o de proteínas.

Se supuso, como algo evidente, que estas reservas de grasa eran relativamente inmóviles; es decir, que las moléculas grasas estaban simplemente esperando una situación de urgencia. Puesto que un animal podría tener la suerte de padecer escasez de alimentos sólo en raras ocasiones, o quizá nunca, las reservas de grasa servirían en pocas ocasiones o tal vez nunca, y las moléculas estarían en su lugar, durmiendo, por así decirlo, el sueño de los justos.

Pero no es así. Schoenheimer y Rittenberg dieron de comer las grasas marcadas isotópicamente a las ratas, esperaron cuatro días y luego analizaron la grasa almacenada en el cuerpo de la rata. Descubrieron entonces que la mitad de los átomos de hidrógeno-2 que las ratas habían comido estaban en sus reservas grasas. Esto significaba o bien que la rata (y seguramente los demás animales) estaba utilizando constantemente las moléculas de la reserva de grasa y sustituyéndolas con otras moléculas, o bien que las moléculas de la reserva de grasa estaban intercambiando constantemente átomos de hidrógeno entre sí y con las nuevas moléculas que aparecían. En cualquier caso, la actividad era rápida e incesante.

Schoenheimer y Rittenberg probaron con otros marcadores isotópicos. Consiguieron que Urey les proporcionara nitrógeno-15 y lo utilizaron para sintetizar aminoácidos. Los aminoácidos son los bloques constructivos de las moléculas de proteína, y hay por lo menos un átomo de nitrógeno en cada aminoácido. Si se da a las ratas un aminoácido marcado con nitrógeno-15, podrá seguirse la trayectoria de este marcador.

Resultó que el átomo de nitrógeno no permanecía en el aminoácido concreto que los investigadores daban a las ratas. Al cabo de un tiempo notablemente breve el nitrógeno aparecía en otros aminoácidos.

Se comprobó que ésta era una norma general. Las moléculas constituyentes del cuerpo no están quietas esperando que una señal indique la necesidad de participar en algún cambio químico. En realidad, las moléculas están reaccionando continuamente.

Como es lógico, estas reacciones no deben suponer cambios generales. Una molécula podría desprenderse de un par de átomos de hidrógeno y recuperarlos luego. Podría desprenderse de los átomos constituyentes de una molécula de agua y recogerlos de nuevo. Podría desprenderse de un grupo con nitrógeno y recogerlo de nuevo. Una molécula con un anillo de átomos podría romper el anillo y reconstituirlo mientras que una molécula con una cadena recta de átomos podría intercambiar átomos o grupos de átomos idénticos, dejando cada cosa en el mismo estado que antes.

Nada de esto podría haberse demostrado sin la utilización de compuestos marcados isotópicamente, pero una vez que empezaron a utilizarse estos marcadores y se demostró este cambio molecular rápido e incesante, pudo entenderse (a posteriori) la razón de todo.

Si las moléculas se mantuvieran quietas, inmóviles, inertes, y si esperaran alguna situación de urgencia, cuando esta situación llegara debería producirse algún cambio básico en el entorno molecular que transformara la quietud en acción. Sin duda se necesitaría tiempo para «despertar» las moléculas y poner en marcha todo el mecanismo. El resultado final sería que el organismo tendría muchas dificultades para responder con la necesaria prontitud a la situación de urgencia.

En cambio, si las moléculas están siempre en acción, deseosas, por así decirlo, de intervenir, en una situación de urgencia sólo deberán producirse cambios menores. Las moléculas, que de todos modos ya están experimentando todo un conjunto de cambios, sólo deberán acelerar algunos de estos cambios y frenar otros. Toda la maquinaria estará ya funcionando.

Si en la primitiva historia de la Tierra hubo algún organismo que no utilizaba estas moléculas en permanente actividad (lo que en cierto modo dudo), fue eliminado rápidamente en la carrera evolutiva cuando se desarrollaron otros organismos que dispusieron de estas moléculas en continua

actividad.

Schoenheimer publicó una obra titulada *El estado dinámico de los constituyentes del cuerpo*, en la que describió e interpretó todos sus descubrimientos y que causó sensación en el mundo químico y bioquímico. Pero el 11 de septiembre de 1941, cuando tenía cuarenta y tres años de edad, se suicidó.

Ignoro por qué lo hizo. Es cierto que había huido de Hitler y que en septiembre de 1941 parecía que Alemania estuviera ganando la guerra. Toda Europa estaba bajo su poder. Gran Bretaña había sobrevivido a duras penas al ataque aéreo y la Unión Soviética, recién invadida, parecía a punto de hundirse bajo la poderosa ofensiva alemana.

Japón estaba de parte de los nazis, y Estados Unidos permanecía inmovilizado por la presión de sus propios aislacionistas. Yo recuerdo muy bien el miedo y la depresión que sentía en aquella época cualquier persona que tuviera motivos para temer las teorías raciales de los nazis. Schoenheimer pudo haber albergado también motivos personales, pero no puedo dejar de pensar que el estado del mundo contribuyó a su acto.

En todo caso fue una tragedia por varios conceptos. Recordemos que Schoenheimer había fundado la técnica del marcaje isotópico y que con ello había revolucionado nuestras ideas sobre el metabolismo. Recordemos también que trabajos posteriores (en los que sin duda habría participado Schoenheimer si hubiese vivido) utilizaron estos marcadores y resolvieron en sus detalles muchos problemas metabólicos. Parece pues muy claro que Schoenheimer habría recibido un premio Nobel si hubiese sido capaz de aceptar el continuar viviendo.

Más aún, Schoenheimer no pudo presenciar el triunfo de otra forma de marcaje radiactivo que hizo su aparición una vez finalizada la segunda guerra mundial. Si hubiese podido saberlo, hubiera lamentado esta pérdida más que la del mismo premio Nobel.

Nos ocuparemos de este nuevo sistema de marcaje en el capítulo siguiente.

3. Las Consecuencias Del Pastel

El 11 de noviembre de 1985, cuando entraba en mi casa, el portero me dijo:

—Hoy sale usted en la página seis del New York Post, doctor Asimov.

Alcé las cejas, sorprendido. En la página seis aparecen los ecos de sociedad, una especie de página de cotilleos. Al menos, eso me han dicho, pues yo pocas veces leo el Post.

—¿Y por qué? —pregunté.

El portero sonrió entre dientes.

—Está usted besando a una mujer, doctor Asimov. —Y me tendió el periódico.

El que yo bese a una mujer no es ninguna noticia. En mi opinión las mujeres han sido creadas para que las besen. Entonces ¿por qué se interesaba el Post por una cosa así? Mientras subía en el ascensor a mi apartamento, abrí el periódico por la página seis.

Entré en casa y dije a mi querida esposa, Janet:

—Al final ha sucedido, Janet. He besado a una mujer y ha salido en la sección de cotilleos de un periódico.

—Oh, no —dijo Janet, que lo sabe todo sobre esta simpática debilidad mía—. Todos nuestros conocidos me llamarán para contármelo.

—¿Qué más da? —dije, y le alargué el periódico.

He aquí la noticia entera:

Un chico de la ciudad como Isaac Asimov no necesita irse en coche a ver una sesión de cine al aire libre. Al prolífico escritor de ciencia-ficción no pareció importarle que le vieran abrazando y besando a una mujer en la Academia de Ciencias de Nueva York de la calle 63 East durante la reciente proyección del nuevo espectáculo de TBS, *La creación del universo*. ¿Y por qué habría de importarle?

La dama en cuestión era Janet Jeppson, su esposa desde hace doce años. Tal vez fue el título lo que animó a los dos sexagenarios.

Janet se echó a reír. Le hizo tanta gracia, que ni siquiera le importó que la llamaran sexagenaria, aunque en el momento del incidente (5 de noviembre) sólo tenía cincuenta y nueve años y un cuarto.

Pero yo le dije:

—No lo has entendido bien, Janet. Piensa en lo que eso revela de nuestra sociedad. El que un hombre, al final de su juventud, bese a su propia esposa se considera tan insólito que incluso aparece en los periódicos.

Sin embargo, las noticias intrascendentes no sólo quedan registradas en los periódicos, sino también en los libros de historia; y las cosas más insignificantes pueden cobrar importancia. En la historia de la ciencia, por ejemplo, tenemos el siniestro incidente de la patrona de una casa de huéspedes y su pastel del domingo.

El protagonista del episodio fue un químico húngaro llamado Gyorgy Hevesy (1885-1966). Su padre era un industrial a quien el emperador austrohúngaro Francisco José I concedió un título nobiliario, y por eso a veces se conoce al químico con el nombre de «von Hevesy». En 1911, Hevesy tuvo una discusión con su patrona.

Se quejaba de que ésta reciclaba los restos del pastel que servía los domingos y los convertía en comida para el resto de la semana. (Para mí, eso no es una maniobra criminal, pero en la época en que las eficaces neveras domésticas no eran una presencia evidente, ese reciclaje podía tener sus riesgos). Como es lógico, la patrona negó la acusación enérgicamente.

Resulta que en aquella época Hevesy trabajaba en el laboratorio de Ernest Rutherford, en Cambridge. Rutherford y sus estudiantes se dedicaban intensamente a investigar la radiactividad, con lo cual Hevesy pudo conseguir una cantidad pequeña de sustancia radiactiva. Lo que en realidad utilizó fue un pedazo diminuto de los productos de desintegración del torio.

Cuando la comida del domingo hubo terminado y nadie miraba, Hevesy añadió una pizca de sustancia radiactiva al pastel. El miércoles siguiente sirvieron un suflé, y Hevesy sacó su electroscopio.

Un electroscopio consiste en dos hojuelas de oro encerradas en un recipiente. Las hojuelas de oro están unidas a una varilla, uno de cuyos extremos sobresale del recipiente. Si el extremo exterior de la varilla toca un objeto cargado eléctricamente, las dos hojuelas de oro igualmente cargadas se repelen y se separan formando una V invertida.

Si un electroscopio cargado de este modo se somete a una penetrante radiación, como la que producen las sustancias radiactivas, la carga se escapa y las dos hojuelas vuelven a juntarse. Cuando Hevesy acercó el electroscopio al suflé, las hojuelas de oro comenzaron de pronto a juntarse. Dicho de otro modo, el suflé era radiactivo, y lo era porque contenía pedazos del pastel del domingo.

En otras palabras, Hevesy había introducido en el pastel un marcador radiactivo, y luego había seguido los movimientos de ese marcador. Fue la primera utilización en la historia de un «marcador radiactivo», aunque con una finalidad intrascendente.

El propio Hevesy menospreció el hecho y no le dio ninguna importancia, aunque la tenía. Por lo menos le había inspirado la idea del rastreo radiactivo, y eso tuvo sus consecuencias.

En 1913, Hevesy aplicó el principio del rastreo radiactivo a un problema químico. Muchos compuestos de plomo son sólo ligeramente solubles. Para la química es muy interesante saber qué solubilidad puede tener cada uno de ellos, pero es difícil realizar mediciones precisas. Imaginemos que pulverizamos un compuesto de plomo y le añadimos agua. Lo agitamos hasta que la mayor parte del compuesto se haya disuelto todo lo posible. Luego separamos con un filtro el polvo no disuelto y analizamos el fluido claro resultante, en busca del compuesto disuelto. Sin embargo, hay tan poca cantidad de compuesto presente, que es muy difícil determinar con exactitud su concentración.

Hevesy decidió que para ello sólo hacía falta combinar plomo ordinario con plomo-210, un isótopo que se forma durante la desintegración del uranio, llamado en aquellos días «radio D». El plomo-210 se combinará con plomo ordinario y, siendo sus propiedades químicas idénticas a las de este último, experimentará los mismos cambios. El plomo y su mezcla radiactiva servirán luego para formar un compuesto especial que contendrá un pequeño porcentaje de plomo-210. La cantidad exacta de plomo-210 presente podrá determinarse fácilmente midiendo la intensidad de la radiación radiactiva. Este tipo de mediciones es tan sensible que aportará resultados precisos a pesar de la pequeña cantidad presente.

Al disolver luego el compuesto de plomo, la porción del compuesto que contiene plomo-210 se disolverá también, y precisamente en la misma proporción que el compuesto total. Si medimos el porcentaje de plomo-210 presente en la solución, mediremos automáticamente el porcentaje del compuesto total disuelto. De esta forma podrá determinarse la solubilidad con mucha más exactitud que con los métodos anteriores.

Hevesy, hacia 1918, utilizaba plomo radiactivo y bismuto radiactivo para estudiar el comportamiento de los compuestos de hidrógeno de estos metales.

Más tarde, en 1923, Hevesy utilizó marcadores radiactivos por primera vez en la investigación bioquímica. Añadió pequeñas dosis de una solución de plomo al fluido con el que estaba trabajando, y que se utilizaba para regar plantas. Las plantas absorben sales minerales del agua del suelo, y probablemente también absorben, en muy pequeñas cantidades, compuestos de plomo.

Hevesy había utilizado para este fin compuestos de plomo que contenían algo de plomo-210 radiactivo. Quemó luego las plantas a distintos intervalos y analizó las cenizas en busca de radiactividad. De este modo pudo seguir con precisión los progresos de la absorción del plomo y la cantidad de plomo contenida en las diferentes partes de la planta.

Sin embargo, las posibilidades que ofrecen el plomo y el bismuto son limitadas, especialmente en problemas de bioquímica, puesto que ninguno de los dos elementos se da de manera natural en los tejidos vivos (aunque sí como un contaminante accidental). Por este motivo, aunque los informes de Hevesy parecían tener cierto interés, se consideraron un callejón sin salida. Hasta 1943 no se comprendió que las consecuencias de su investigación (y del pastel de su patrona) tenían una enorme importancia, y se le concedió entonces el premio Nobel de química.

De este modo, el rastreo radiactivo adquirió una gran importancia...

A primera vista podría parecer que la radiactividad está confinada totalmente a los elementos exóticos del extremo superior de la tabla periódica. El uranio (elemento número 92) y el torio (número 90) se desintegran y forman docenas de productos diferentes. Estos productos incluyen átomos de número atómico tan bajo como el 82, pero no inferior a él. (Los productos de desintegración de cada uno de ellos eran demasiado abundantes para tener un número atómico separado, y esto abrió la pista de los isótopos a Frederick Soddy, como ya dije en el primer capítulo).

De todos los productos de desintegración, solamente los que son isótopos del plomo (número 82) o del bismuto (número 83) lo son de elementos que también poseen isótopos estables. El estudio de los fenómenos radiactivos durante el decenio de 1920 no reveló isótopos radiactivos de ningún elemento con un número atómico inferior a 82, y lo lógico era suponer que los isótopos radiactivos de estos elementos más ligeros no existían.

En aquel entonces estaban trabajando en este tema Frédéric Joliot-Curie (1900-1958) y su esposa, Irène Joliot-Curie, hija de la famosa madame Marie Curie.

Los Joliot-Curie estaban muy ocupados bombardeando átomos ligeros como el boro, el magnesio y el aluminio con partículas alfa, una radiación emitida por ciertas sustancias radiactivas. Rutherford había iniciado ya este tipo de investigación y fue el primero en observar los cambios que el bombardeo producía en los núcleos atómicos.

Una partícula alfa está compuesta por dos protones y dos neutrones, y cuando choca con el núcleo de un átomo ligero puede suceder que los dos neutrones y uno de los protones permanezcan en el núcleo y que el otro protón se escape. Rutherford observó esto por primera vez en 1919, al bombardear nitrógeno con partículas alfa. El núcleo de nitrógeno tiene siete protones y siete neutrones. Si le añadimos un protón y dos neutrones de la partícula alfa, tendremos un producto que contiene ocho protones y nueve neutrones.

Un núcleo con ocho protones y nueve neutrones es el del oxígeno-17, que es raro en la naturaleza, pero estable.

O sea, que Rutherford había convertido nitrógeno-14 en oxígeno-17 y había conseguido realizar una transmutación, proceso consistente en cambiar un elemento en otro y que no habían logrado los antiguos alquimistas.

Los Joliot-Curie consiguieron resultados similares. En 1933, descubrieron que bombardeando el aluminio-27 (trece protones y catorce neutrones en el núcleo) con partículas alfa (que tienen dos protones y dos neutrones) el núcleo adquiría un protón y dos neutrones, transformándose en un núcleo con catorce protones y dieciséis neutrones. Éste es el núcleo de silicio-30, un isótopo de silicio bastante raro, pero estable.

Esto significaba naturalmente que el aluminio bombardeado emitía protones, como de costumbre. Esto no tenía nada de sorprendente. Pero luego los Joliot-Curie observaron que, además de los protones, se emitía también una cierta cantidad de neutrones y positrones. Esto era algo más sorprendente, pero no mucho.

Un neutrón (descubierto en 1931, solamente cuatro años antes) es muy similar a un protón, pero se diferencia en que el neutrón no tiene carga eléctrica mientras que el protón tiene una carga

de +1. El positrón (descubierto sólo dos años antes) es muy ligero comparado con el protón y con el neutrón y, al igual que el protón, tiene una carga de +1. Combinemos el neutrón y el positrón y tendremos una partícula cuya masa continúa siendo la de un neutrón, pero cuya carga es +1. En resumen, tendremos un protón. Por lo tanto, si se forma un protón como resultado de una reacción nuclear, cabe imaginar que en la misma reacción nuclear puedan formarse también un neutrón más un positrón, los cuales, juntos, equivalen a un protón.

Hasta aquí todo iba bien. A principios de 1934, los Joliot-Curie observaron que cuando el bombardeo de partículas alfa se detenía, la producción de protones y neutrones se interrumpía también, y de forma repentina. Eso ya se esperaba. Pero entonces vino la gran sorpresa. La producción de positrones no se interrumpía. Continuaba, pero a una velocidad que disminuía con el tiempo en una forma característica de una transformación radiactiva.

¿Qué estaba ocurriendo?

Los Joliot-Curie habían supuesto al principio que el átomo de aluminio emitía un neutrón y un positrón al mismo tiempo, y que como esto equivalía a emitir un protón, en ambos casos el aluminio-27 se estaba convirtiendo en silicio-30. El hecho de que se interrumpiera la emisión de neutrones y de que los positrones siguieran apareciendo podía muy bien significar que las dos partículas se estaban produciendo independientemente. Supongamos, pues, que en primer lugar se producía y se emitía un neutrón.

Esto significaba que cuando la partícula alfa chocaba con el núcleo de aluminio-27, la partícula absorbía dos protones y un neutrón y emitía al mismo tiempo el segundo neutrón. Los trece protones y los catorce neutrones del aluminio-27 se convertían de este modo en quince protones y quince neutrones, y el resultado era un núcleo de fósforo-30.

El fósforo-30, sin embargo, no existe en la naturaleza.

Los átomos de fósforo que existen en la naturaleza pertenecen siempre a una única variedad atómica: el fósforo-31 (quince protones y dieciséis neutrones). No existe en la naturaleza ningún otro isótopo de fósforo.

Sin embargo, allí se había formado fósforo-30. Tenía que ser radiactivo, pues eso explicaría su ausencia en la naturaleza. Aunque se hubiera formado por algún proceso, se desintegraría rápidamente.

¿Qué pasaría si la desintegración del fósforo-30 fuera acompañada por la emisión de positrones? Eso explicaría que continuaran emitiéndose positrones después de haber cesado el bombardeo de partículas alfa. El bombardeo de partículas alfa habría formado más fósforo-30 del que podía desintegrarse, creándose así una pequeña concentración del isótopo. Luego, al cesar el bombardeo, el fósforo-30 formado continuaría desintegrándose.

La velocidad con que disminuía la formación de positrones permitía calcular que la semivida del fósforo-30, o período de vida media, es de unos dos minutos y medio.

La emisión de positrones es muy parecida a la emisión de partículas beta. Al fin y al cabo, las partículas beta están despidiendo electrones a gran velocidad y un positrón es exactamente como un electrón, con la diferencia de que el primero tiene una carga +1 y el último -1.

Cuando un núcleo emite un electrón, un neutrón con una carga 0 se convierte en un protón con una carga +1. Dicho de otro modo, que un núcleo pierda una carga negativa (mediante la emisión de un electrón) es equivalente a que gane una carga positiva (al convertir un neutrón en un protón).

La emisión de positrones producirá de modo natural el efecto inverso de la emisión de electrones, puesto que un positrón es lo opuesto a un electrón. Si la emisión de un electrón convierte un neutrón en un protón, la emisión de un positrón convierte un protón en un neutrón. Si el fósforo-30 emite un positrón, sus quince protones y quince neutrones se transforman en catorce protones y dieciséis neutrones, y se convierte en silicio-30.

Lo que equivale a decir que si el aluminio-27 se bombardea con partículas alfa, puede convertirse directamente en silicio-30, o puede convertirse en silicio-30 indirectamente pasando por fósforo-30. Los Joliot-Curie, por tanto, fueron los primeros en demostrar la existencia de la

«radiactividad artificial». La importancia de esto se reconoció enseguida y en 1935 se les concedió el premio Nobel de química.

Cuando los Joliot-Curie hubieron mostrado el camino, otros investigadores siguieron sus pasos. Se descubrió un gran número de isótopos radiactivos (o «radioisótopos») y, finalmente, se descubrió que cada elemento de la lista, sin excepción, tenía sus correspondientes radioisótopos.

Es probable, desde luego, que los radioisótopos sean mejores marcadores que los isótopos, estables pero raros.

La espectrometría de masas, procedimiento bastante pesado y difícil, es el único método que permite detectar un isótopo estable y medir su concentración. Los radioisótopos pueden detectarse, y su concentración puede medirse, de modo mucho más fácil y rápido.

Hevesy fue también aquí el primero. En 1935 estudió la absorción por las plantas de los iones fosfáticos en soluciones, utilizando el fósforo radiactivo como marcador.

Por supuesto, la utilización de radioisótopos entraña dificultades. ¿Qué pasa si su semivida es corta?

Como he dicho anteriormente, la semivida del fósforo-30 es de dos minutos y medio. Es evidente que cualquier experimento en que se utilice fósforo-30 debe transcurrir en unos pocos minutos, o de lo contrario la cantidad de fósforo-30 presente habrá disminuido tanto que resultar imposible detectarlo con exactitud. Afortunadamente, el fósforo-32, otro radioisótopo del elemento, tiene una semivida de 14,3 días, lo cual es mucho mejor.

Desde el punto de vista de la bioquímica, los cinco elementos más importantes son el hidrógeno (número 1), el carbono (número 6), el nitrógeno (número 7), el oxígeno (número 8) y el azufre (número 16). El azufre cuenta con un radioisótopo útil, el azufre-35, cuya semivida es de 87 días.

El hidrógeno parecía plantear un problema más intrigante. Aunque todos los demás elementos tuvieran radioisótopos, cabía la posibilidad de que el hidrógeno careciera de ellos. Al fin y al cabo el hidrógeno es el más simple de los elementos. ¿Cómo podría desintegrarse?

El núcleo de hidrógeno común está compuesto por un protón y nada más. Por lo tanto, tendría que ser estable.

Cuando se descubrió el hidrógeno-2 (deuterio), con un núcleo formado por un protón y un neutrón, también resultó ser estable.

Sin embargo, cuando los científicos hubieron descubierto el deuterio lo utilizaron en varias formas diferentes. En primer lugar, podía utilizarse para el bombardeo con neutrones.

Los neutrones no están cargados eléctricamente y no pueden acelerarse como las partículas cargadas. Esto significa que si tenemos una fuente de neutrones, debemos emplearlos con las energías con que se producen, puesto que no podemos acelerarlos a energías superiores. En general, las energías producidas no son las que desearían tener los experimentadores.

Un núcleo de deuterio, o «deuterón», compuesto por un protón y un neutrón puede acelerarse ya que tiene una carga +1. Los núcleos atómicos pueden, por lo tanto, bombardearse con deuterones acelerados y de gran energía.

Resulta, sin embargo, que el protón y el neutrón del deuterón están débilmente enlazados en comparación con los enlaces de otros núcleos. Cuando un deuterón acelerado se acerca a un núcleo, este núcleo (que está cargado positivamente) repele el protón, una de las dos partículas del deuterón. El enlace entre el protón y el neutrón puede entonces romperse, y el protón puede verse obligado a alejarse del núcleo, proyectándose a gran velocidad en una dirección distinta. Sin embargo el neutrón, que no está cargado, no resultará afectado por la carga eléctrica del núcleo y continuará su avance a gran velocidad. El neutrón podrá entonces chocar con el núcleo y fusionarse con él.

En 1934, un físico australiano, Marcus Laurence Elwin Oliphant (1901), bombardeó el propio deuterio con deuterones acelerados. En algunas ocasiones el protón del deuterio tenía que escapar mientras el neutrón continuaba su marcha y acababa por chocar con el núcleo de deuterio (un deuterón de baja energía) y quedarse en él. El resultado de esta fusión es un núcleo con un protón y

dos neutrones: «hidrógeno-3», o como suele llamarse, «tritio». Su descubridor fue Oliphant.

El hidrógeno-3 resultó ser radiactivo, y el único radioisótopo conocido del hidrógeno. Se desintegra emitiendo un electrón (una partícula beta), de modo que, dentro de su núcleo, un neutrón se convierte en un protón. El núcleo resultante, con dos protones y un neutrón, es el helio-3, un núcleo realmente raro, pero estable.

La semivida del hidrógeno-3 es de 12,26 años, de modo que puede utilizarse fácilmente como marcador radioisotópico.

La suerte que había acompañado a los bioquímicos con el azufre y el hidrógeno los abandonó, sin embargo, con el oxígeno y el nitrógeno.

El radioisótopo de nitrógeno menos inestable es el nitrógeno-13 (siete protones y seis neutrones), que tiene una semivida de sólo diez minutos. La situación del oxígeno es aun peor. El radioisótopo de oxígeno que se acerca más a la estabilidad es el oxígeno-15 (ocho protones y siete neutrones) y su semivida es de sólo unos dos minutos.

Ninguno de estos radioisótopos es muy útil como marcador, puesto que son demasiado evanescentes. Pero, además, es absolutamente seguro que no encontraremos nunca un radioisótopo de oxígeno ni de nitrógeno que tenga una semivida más larga. Así pues, cuando trabajamos con estos dos elementos nos vemos obligados a utilizar como marcadores los isótopos estables y raros: el oxígeno-18 y el nitrógeno-15. (Tampoco hay que quejarse. Es una suerte contar con ellos, y han sido útiles a los bioquímicos).

Durante una época no parecía que el carbono, el elemento más importante en bioquímica, diera mejor resultado. En el decenio de 1930, el radioisótopo de carbono conocido menos inestable era el carbono-11 (seis protones y cinco neutrones), que tenía una semivida de 20,4 minutos.

Esta semivida es bastante corta, pero en atención al carbono los bioquímicos se esforzaron en trabajar con este radioisótopo. Idearon experimentos que podían terminarse en una hora. Esto tenía ciertas ventajas. Si un experimento corto se diseña con éxito, puede repetirse una y otra vez, a veces en condiciones variables, sin perder demasiado tiempo. Además, un radioisótopo de corta vida produce una abundante radiación (por eso es de corta vida), de modo que puede utilizarse una cantidad muy pequeña del mismo. Sin embargo, aunque se realizaron con el carbono-11 algunos buenos experimentos, las oportunidades eran limitadas.

Se sabía que el carbono-14 debía existir y que debía ser radiactivo. Entre los elementos más ligeros, hay sólo un isótopo estable por cada suma dada de protones y neutrones del núcleo. El nitrógeno-14 (siete protones y siete neutrones) es estable, de modo que el carbono-14 (seis protones y ocho neutrones) debía de ser con toda seguridad inestable. Se esperaba que se desintegrara emitiendo un electrón, y convirtiendo un neutrón en un protón. El resultado sería nitrógeno-14.

La única duda se refería a la posible semivida del carbono-14. A fines del decenio de 1930, los químicos pensaron que esta semivida podría ser del orden de fracciones de segundo. Continuaron con sus intentos por aislar alguna forma de desintegración radiactiva que pudiera atribuirse al carbono-14, pero siguieron fracasando. A cada nuevo fracaso parecía más seguro que el carbono-14 debía tener una vida muy corta y que éste era el motivo de que no pudiera aislarse.

Después, en 1939, un bioquímico canadiense-norteamericano, Martin David Kamen (1913), se aplicó concienzudamente a investigar todas las reacciones nucleares que podían producir carbono-14. Kamen bombardeó átomos utilizando protones, deuterones o neutrones como partículas de bombardeo y el boro, el carbono o el nitrógeno como átomos bombardeados.

Hasta principios de 1940, los resultados fueron negativos; luego Kamen bombardeó el carbono con deuterones de una energía determinada y obtuvo una débil radiactividad. La radiactividad acompañaba al carbono en todos sus cambios químicos, y por lo tanto tenía que proceder de un isótopo de carbono.

Para que el deuterón produjera un isótopo de carbono, tenía que introducir su neutrón en el núcleo de carbono y abandonar su protón dejando que siguiera su propio camino. El neutrón adicional no habría modificado el elemento, pero habría aumentado en una unidad su número de masa, convirtiendo el carbono-12, el isótopo común, en carbono-13, que es también estable aunque

raro. En cambio, el carbono-13 se convertiría en carbono-14 radiactivo.

En tal caso, lo mejor sería aumentar la cantidad de carbono-13 en el carbono a bombardear. Así se hizo, y al bombardear el carbono enriquecido con deuterones, la radiactividad aumentó mucho. Al final, se obtuvo carbono-14 en cantidades suficientes para su estudio, y una auténtica conmoción sacudió el mundo de la bioquímica. ¡El carbono-14 resultó tener una semivida de 5.730 años!

Con el carbono-14 podían llevarse a cabo experimentos que durarían, si uno lo deseaba, una vida entera, y no habría problema alguno con la radiactividad. La radiactividad no desaparecería y se mantendría, de hecho, casi constante.

Sin embargo, a principios de la década de 1940 persistía una dificultad. Los radioisótopos sólo podían formarse en pequeñas cantidades, y por lo tanto eran muy caros.

De todos modos, al mismo tiempo que se descubría el carbono-14, los científicos estaban trabajando en la fisión del uranio y a fines de la segunda guerra mundial se habían inventado los reactores nucleares.

Un reactor nuclear es una fuente de un gran número de neutrones lentos producidos por la fisión de átomos de uranio. Estos neutrones lentos son capturados fácilmente por átomos de muchos tipos y de este modo se forman elementos de número de masa superior. O bien un átomo puede absorber un neutrón y emitir un protón o una partícula alfa, con lo que puede formarse un radioisótopo de otro elemento. De este modo pueden formarse radioisótopos útiles de todos los elementos de importancia bioquímica, incluidos el hidrógeno-3 y el carbono-14; y la investigación con marcadores radiactivos inició su siglo de oro.

El carbono-14 fue, por supuesto, el más importante de los radioisótopos marcadores, y uno de sus triunfos guarda relación con la fotosíntesis, pero eso lo dejaré para otro día. En su lugar, abordaré en el próximo capítulo otros dos aspectos importantes del carbono-14 en los que no interviene para nada la investigación ordinaria con marcadores radiactivos.

4. El Enemigo Interno

Lester del Rey es un excelente escritor, director literario y crítico de ciencia-ficción. Es una de las personas más honradas, sinceras e inteligentes que conozco. También es, y me alegra decirlo, uno de mis más viejos amigos. Lo conozco desde hace cuarenta y cinco años.

En este intervalo, por supuesto, él ha cumplido cuarenta y cinco años más y yo cuatro o cinco más.

Nuestra relación es peculiar. Si estamos los dos solos, entre nosotros no hay más que cariño y amistad. Sin embargo, en cuanto una tercera persona aparece en el horizonte, las cosas cambian inmediatamente. Lester enseña los dientes y me ataca.

Como he dicho multitud de veces:

—Lester se quitaría la camisa para dármela. Lo que no haría nunca sería dirigirme una palabra amable.

Por supuesto, no deben ustedes hacerse una idea equivocada. Procuro ser equitativo. Estoy esperando que algún día Lester me diga:

—Toma, Isaac. Aquí tienes mi camisa.

En cuyo caso le contestaré, y apenas puedo esperar de impaciencia:

—¿Una camisa tuya? ¿Y quién iba a quererla?

La cuestión es que hace unos años estábamos grabando juntos una entrevista de televisión, hablando ambos con gran sensatez y manteniendo la mayor corrección. Se hubiera dicho que éramos personas totalmente respetables.

Pero cuando el programa se acercaba a su fin, la bonita mujer que nos entrevistaba se dirigió hacia mí y dijo:

—Tengo entendido, doctor Asimov, que usted no coge nunca un avión. Parece extraño que alguien que viaja por toda la galaxia con la imaginación no pueda viajar en avión. ¿A qué es debido eso?

Esa pregunta me tiene terriblemente harto, pero contesté educadamente:

—No es más que un miedo irracional.

Ante lo cual, Lester, que se había reprimido durante casi media hora, perdió el control y dijo:

—Conocido de otro modo por cobardía. Por lo que a mí respecta, estoy a punto para volar en cualquier momento.

Entonces yo, olvidando totalmente que estábamos en televisión, repliqué:

—Eso es porque tu vida no vale nada, Lester.

Con eso terminó el programa, y la joven, simulando una sonrisa, nos dio las gracias a ambos. Sin embargo, una sensación de mareo se apoderó de mí cuando de repente me di cuenta, muy claramente, de que íbamos a salir en televisión aquella noche y de que mi querida esposa, Janet, iba a estar viéndonos.

Resulta que Janet tiene mucho cariño a Lester. Pensé, con cierto nerviosismo, que lo mejor sería darle la noticia diplomáticamente.

Así que la llamé y le conté lo que había pasado.

Ella exclamó consternada:

—¿Eso dijiste en televisión? —Y después, como tiene el corazón más blando que una piel de chinchilla, se echó a llorar.

Pedí a Lester que se acercara al aparato y le dije:

—Por favor, Lester, explícale a Janet que no te importó.

Lester hizo lo que pudo, pero eso no la calmó y todo el día siguiente estuvo mirándome y diciendo:

—Y lo dijiste en televisión...

Al final, la desesperación me hizo recurrir a un argumento lógico:

—Sí, pero Lester empezó primero.

Entonces ella mató mi as con su propio comentario lógico:

—Eso no es ninguna excusa —dijo.

...Bien, después de pensar en ese episodio (acabo de hablar con Lester por teléfono y eso me lo ha recordado), más vale que me olvide de él. Y que pase a hablar del carbono-14.

Hasta ahora y durante tres capítulos consecutivos he estado hablando de una forma u otra sobre los marcadores isotópicos, y éste será el cuarto. En el capítulo 3 conté el inesperado descubrimiento del carbono-14, un radioisótopo de vida considerablemente larga, con una semivida de 5.730 años.

Dado que la semivida es tan larga y que el carbono es el elemento que tiene una función más central en la vida, el carbono-14 se convirtió, de repente, en el marcador más importante de la bioquímica.

De todos modos, si la semivida lo fuera todo, no quedaría carbono-14 en el medio ambiente natural de hoy en día, aunque una semivida de 5.730 años es bastante larga comparada con la vida de la humanidad o incluso con la historia de la misma civilización.

La escritura se inventó hacia el año 3000 a. J.C. Si hubieran colocado medio kilo de carbono-14 bajo el trocito de arcilla en que se grabó por primera vez la escritura cuneiforme, y no lo hubiera tocado nadie hasta el momento actual, aún quedaría hoy la mitad de carbono-14.

Sin embargo, esta semivida no es larga comparada con las eras geológicas. Si toda la Tierra fuera una masa sólida de carbono-14, todas sus partes se desintegrarían, hasta el último átomo, en sólo un millón de años aproximadamente; y un millón de años no es más que 1/4.600 de la vida de la Tierra. Si de alguna manera se hubiera formado carbono-14 hace más de un millón de años, por mucha cantidad de isótopo existente en aquel momento, ya no quedaría nada de él.

No conocemos ningún método posible de formación del carbono-14 en el pasado de la Tierra que no pudiera actuar también ahora. En consecuencia, si actualmente el carbono-14 no se forma en la Tierra de modo natural, tampoco se pudo formar de modo natural en otras épocas, y ya no existiría carbono-14 en la Tierra, aparte de las minúsculas cantidades que los científicos puedan producir en el laboratorio.

Sin embargo en la naturaleza hay una pequeña cantidad de carbono-14; y esto sólo puede deberse a que algún proceso está fabricando ahora mismo el isótopo.

El químico lituano-estadounidense Aristid V. Grosse (1905) propuso en 1934 que los rayos cósmicos interaccionan con los átomos de la atmósfera y desencadenan reacciones nucleares que podrían producir radioisótopos sin la intervención del hombre.

Otras investigaciones demostraron que la teoría era correcta. Las partículas de rayos cósmicos que penetran en la parte superior de la atmósfera (la «radiación primaria») son núcleos de átomos cargados positivamente, despedidos a una velocidad próxima al noventa y nueve por ciento de la velocidad de la luz. Nueve décimas partes de estas partículas son núcleos de átomos de hidrógeno, es decir, simples protones.

Los protones (y el puñado adicional de núcleos de mayor masa) chocan más tarde o más temprano con otros átomos, y lo hacen muy enérgicamente porque su velocidad es muy elevada. Los

núcleos con los que chocan se fragmentan y producen partículas de «radiación secundaria», de energía algo inferior a la radiación primaria, pero todavía bastante grande. Entre las partículas de esta radiación secundaria están los neutrones.

Muy de vez en cuando, uno de estos neutrones choca con un núcleo de nitrógeno-14 (el componente principal de la atmósfera). El neutrón expulsa un protón del núcleo, y se queda en el nuevo núcleo. El núcleo de nitrógeno-14 está compuesto por siete protones y siete neutrones. Si un protón sale cuando un neutrón entra, el resultado es un núcleo con seis protones y ocho neutrones, es decir, carbono-14. Por conveniencia, podemos llamarlo también «radiocarbono».

El radiocarbono, una vez formado, se combina rápidamente con el oxígeno y el resultado es dióxido de radiocarbono.

Como es normal, los átomos de carbono-14 en el dióxido de radiocarbono al final se desintegran. Dentro del núcleo de carbono-14, un neutrón se convierte en protón. Se emite una partícula beta (un electrón de gran velocidad) y el núcleo vuelve a convertirse en nitrógeno-14. En el proceso, el átomo de nitrógeno se separa del oxígeno y volvemos al punto donde estábamos antes del choque de los rayos cósmicos.

Mientras tanto, sin embargo, las partículas de rayos cósmicos están produciendo más neutrones que convierten el nitrógeno-14 en carbono-14. Se alcanza un equilibrio en el cual se forman tantos átomos de carbono-14 como se desintegran. De este modo, la cantidad total de átomos de carbono-14 en la atmósfera (en forma de dióxido de radiocarbono) permanece constante.

La cantidad en equilibrio de carbono-14 en la atmósfera es muy pequeña, pero la radiactividad es fácil de detectar y esa cantidad puede medirse. Al parecer, uno de cada 540 mil millones de átomos de carbono en la atmósfera es carbono-14.

Esta proporción no parece mucho, desde luego, pero la Tierra tiene una atmósfera muy grande. Aunque una parte muy pequeña de ella sea dióxido de carbono y sólo parte del dióxido de carbono sea carbono, y aunque sólo muy de vez en cuando un átomo de carbono sea carbono-14, quedan todavía en la atmósfera unos 1300 kilogramos (o casi una tonelada y media) de carbono-14.

Tampoco todo el carbono-14 de la Tierra está contenido en la atmósfera. Hay dióxido de carbono disuelto en el océano, y con él está disuelto también algo de dióxido de radiocarbono.

Y lo que es más importante, las plantas absorben dióxido de carbono, que es la materia prima de que se nutren sus tejidos. Como es lógico, absorben dióxido de radiocarbono al mismo tiempo que dióxido de carbono ordinario, puesto que el carbono-14 tiene propiedades químicas idénticas a las del carbono-12 y carbono-13 estables.

Además, también los animales comen plantas e incorporan los constituyentes de las plantas a sus propios tejidos, junto con cualquier dosis de carbono-14 que pueda haber presente. Al final, el carbono-14 está presente en todas las formas vivas, sin excepción.

El carbono-14 de los tejidos vivos se desintegra lentamente, pero también entran lentamente en ellos nuevos átomos de carbono-14 procedentes de la atmósfera (en el caso de las plantas) o de la comida (en el caso de los animales). Por lo tanto, la concentración de carbono-14 en los tejidos vivos permanece constante; por lo menos mientras los tejidos están vivos.

Sin embargo, cuando un organismo muere no puede absorber más carbono-14, ni de la atmósfera ni de la comida. La cantidad de carbono-14 que tenía en sus tejidos en el momento de morir ya no varía, y ese carbono-14 se desintegra lenta e inexorablemente.

Sabemos con precisión la velocidad con que se desintegra el carbono-14, y podemos detectar y reconocer las partículas beta que emite. A partir del número de partículas beta contadas, conoceremos la cantidad de carbono-14 presente en una muestra determinada de los restos de un ser que antes había estado vivo. Si comparamos esta cantidad con la que contiene la materia viva, podremos calcular cuánto tiempo hace que se desintegró el carbono-14 y, por lo tanto, cuánto tiempo ha estado muerto aquel ser.

Naturalmente, este método no sirve si los organismos muertos fueron devorados y el carbono-14 se absorbió transformándose en tejido del devorador (el devorador puede ser cualquier cosa, desde una ballena azul hasta una bacteria en descomposición). Hay, sin embargo, algunos restos

vivos que permanecen intactos durante miles de años. Son, por ejemplo, la madera vieja, el carbón de antiguas hogueras, los tejidos viejos, los restos de viejas conchas marinas, y otros.

En 1946, el químico estadounidense Willard Frank Libby (1908-1980) propuso utilizar el carbono-14 para datar este tipo de objetos y elaboró las técnicas necesarias. Gracias a ello se le concedió el premio Nobel de química en el año 1960.

La datación con el radiocarbono no es fácil. Si tomamos una determinada cantidad de madera actual, obtendremos sólo trece partículas beta de baja energía por minuto por cada gramo de carbono que contenga. Si la madera tiene una antigüedad de cinco mil años, quizá contaremos en total siete partículas por minuto. Hay que captar estas partículas beta a pesar de las diferentes radiaciones del medio ambiente que no son producidas por el carbono-14. Esto significa que el contador de partículas debe estar protegido con pantallas complicadas.

La exactitud de la técnica puede comprobarse calculando la edad de la madera de las antiguas tumbas egipcias y comparándola con la antigüedad deducida de los datos históricos. El resultado no es malo, aunque la datación con el radiocarbono no es tan precisa como parece serlo la datación histórica.

Podríamos pensar que si el razonamiento histórico habitual es más preciso que la datación con el radiocarbono, no necesitamos para nada este último; pero las reliquias egipcias nos remontan a sólo cinco mil años atrás. Antes de esa época se extiende un período de la prehistoria que resulta muy vago según la datación ordinaria, pero que con el radiocarbono queda datado con una razonable exactitud.

La datación con el radiocarbono puede aplicarse a objetos de hasta setenta mil años de antigüedad.

La datación con el radiocarbono nos ha servido, por ejemplo, para tener una idea de cuándo entraron en América los primeros hombres y de cuándo tuvo lugar el más reciente retroceso de los glaciares. En realidad, se había deducido que el último retroceso de los glaciares tuvo lugar hace quizá veinticinco mil años, pero el radiocarbono de muestras de madera antigua nos dice que el hecho se produjo hace sólo diez mil años.

¿Podemos estar seguros, sin embargo, de que la datación con el radiocarbono es exacta? ¿Hay algunas causas de error?

Si suponemos que la velocidad de desintegración del carbono-14 ha sido constante a lo largo de las eras (y los físicos así lo creen), una causa de error será el fraccionamiento. El carbono-14 tiene aproximadamente un 4,5% más de masa que el carbono-12, y aunque experimenta las mismas reacciones químicas que el carbono-12, su mayor masa lo hace ser un poco más lento. Eso significa que si empezamos con una cantidad determinada de carbono y dejamos que la mitad de ella reaccione de alguna manera, la porción que ha reaccionado es más rica en carbono-12 y más pobre en carbono-14 que la porción que no ha reaccionado. Estos efectos de fraccionamiento deben tenerse en cuenta, y así se hace.

Un error más problemático es la misma formación del carbono-14. Al fin y al cabo, ¿cómo podemos suponer que la incidencia de las partículas de rayos cósmicos ha sido siempre constante? ¿No podría haber variado con los años el número de partículas que chocan con la atmósfera?

De vez en cuando puede explotar una supernova a varios años luz de distancia de la Tierra. ¿No significaría eso que caería una lluvia adicional de partículas de rayos cósmicos sobre la Tierra?

Además, la variación de la intensidad del campo magnético de la Tierra afecta la protección que éste ofrece contra las partículas de rayos cósmicos, y sabemos que la intensidad magnética varia considerablemente con los años.

Si se estudia el contenido del carbono-14 en distintos anillos de madera vieja, se puede obtener una idea de la variación experimentada por la intensidad de los rayos cósmicos y de la velocidad de formación del carbono-14, lo cual nos ayudará a tener en cuenta tales variaciones.

Pero los fenómenos cósmicos, como las supernovas y las variaciones planetarias del campo magnético, no son lo único que introduce incertidumbres. Lo creamos o no, la actividad humana está haciendo ahora lo mismo. Durante un par de decenios después de la segunda guerra mundial se

llevaron a cabo en la atmósfera pruebas de bombas atómicas, y en consecuencia se liberaron en la atmósfera grandes cantidades de neutrones. Esto dio como resultado la formación de suficiente carbono-14 para aumentar la cantidad total de modo perceptible... Y esto merece unas líneas.

Supongamos que queremos saber hasta qué punto afecta al cuerpo humano la radiactividad del medio ambiente natural. Hay pequeñas cantidades de uranio y de torio en las rocas y el suelo que nos rodea, en los ladrillos y piedras con los que se construyen las casas, y así sucesivamente. El uranio y el torio, al desintegrarse, producen cantidades casi imperceptibles de un gas radiactivo, el radón, y sin embargo hoy en día la gente está preocupada por la acumulación de radón en el aire del interior de las casas.

Esto sucede especialmente desde que nos dedicamos con tanto interés a aislar las casas para conservar el calor, lo cual reduce la ventilación que se llevaría el radón de nuestras viviendas y lo expulsaría hacia la atmósfera.

Está además el suave y continuo golpeteo de las partículas de rayos cósmicos y las radiaciones secundarias que producen, las cuales penetran constantemente en nuestros cuerpos durante toda la vida.

Todas estas radiaciones intensas pueden desorganizar las moléculas dentro de nuestro cuerpo y producir de vez en cuando mutaciones que pueden manifestarse a veces con la mayor gravedad en forma de cánceres y de defectos congénitos.

Sin embargo, la humanidad (y la vida en general) ha estado sujeta a estos ataques durante toda su historia y los efectos destructivos de tal radiación son menores que los efectos constructivos, puesto que es necesario un cierto nivel de mutación para que la evolución siga su curso a una velocidad razonable. Sin la radiación que puede producir de forma ocasional un cáncer fatal o un defecto de nacimiento, nosotros no estaríamos aquí: es decir, que el precio debe pagarse.

Además, la radiación externa no es tan mala como parece. Mientras penetra y atraviesa nuestros cuerpos, esta radiación tiene muy pocas posibilidades de chocar con una molécula cuya desorganización causaría una mutación. En la mayoría de casos la radiación se pierde en las moléculas de agua y en otros constituyentes relativamente insensibles del cuerpo.

Pero no toda la radiación es externa. El mismo cuerpo es radiactivo. ¡Hay un enemigo interno!

El cuerpo está compuesto por diversos elementos y algunos de ellos producen radioisótopos de forma natural.

Uno de los elementos es el potasio, un componente absolutamente esencial para el cuerpo. En la naturaleza (y en nuestros cuerpos) hay tres isótopos de potasio: potasio-39, potasio-40 y potasio-41. De éstos, el potasio-40 es el más raro. Sólo un átomo de potasio de entre 8.400 es potasio-40.

Este potasio-40, sin embargo, es sólo ligeramente radiactivo. Tiene una semivida de 1.300 millones de años, y está por tanto produciendo continuamente partículas beta.

El cuerpo humano tiene aproximadamente un 0,01% de potasio. Un adulto de setenta kilos contiene por tanto setecientos gramos de potasio. Esto significa que también contiene 83 miligramos de potasio-40. Podemos calcular cuántos átomos de potasio-40 hay en 83 miligramos, y a partir de la semivida podemos calcular cuántos de estos átomos se desintegran y liberan partículas beta cada segundo. La respuesta es 1900 por segundo.

Estas partículas beta desorganizan átomos y moléculas, y hacen daño. Sin embargo, hay cincuenta billones de células en el cuerpo y cada célula está expuesta en promedio cada año al efecto de una única partícula beta de potasio-40. Y, de nuevo, suele perder su energía de forma inofensiva.

Se ha calculado que la radiación del potasio-40 somete al cuerpo a una radiación aproximadamente equivalente a la que recibe de los rayos cósmicos. Puesto que podemos vivir con rayos cósmicos, también podemos vivir con potasio-40.

Ningún otro elemento esencial para el funcionamiento del cuerpo tiene un isótopo radiactivo natural de tan larga vida. Sin embargo, dos de los elementos esenciales tienen un isótopo radiactivo de corta vida, que no existiría si los rayos cósmicos no lo produjeran constantemente. Uno de ellos

es el carbono-14, por supuesto, y el otro es el hidrógeno-3 (tritio).

Libby demostró en 1946 que los rayos cósmicos forman hidrógeno-3, que por ese motivo se encuentra en la naturaleza en pequeñas cantidades. El hidrógeno-3 tiene una semivida de 12,26 años, que es sólo el 1/460 de la semivida del carbono-14. Es decir, que desaparece más deprisa, de modo que su concentración en la atmósfera (y por lo tanto en las plantas, y por lo tanto en nosotros mismos) es mucho más baja que la del carbono-14.

En el hidrógeno producido de manera natural, sólo uno de cada mil millones de átomos es hidrógeno-3. El cuerpo humano tiene aproximadamente un 0,12% de hidrógeno, pero esta cifra incluye sólo 8.000 billonésimas de gramo de hidrógeno-3, una cantidad despreciable. El hidrógeno-3 provoca sólo tres desintegraciones por segundo en todo el cuerpo. Esta cifra puede descartarse por ser completamente insignificante.

Nos queda el carbono-14. El cuerpo humano tiene un 0,15% de carbono, de modo que una persona de setenta kilos contiene 10,5 kilos de carbono. Dado que hay un átomo de carbono-14 por cada 540 mil millones de átomos de carbono, el cuerpo contiene 190 millonésimas de gramo de carbono-14. Puesto que conocemos la semivida del carbono-14, podemos calcular que el número de partículas beta producidas por el carbono-14 en un segundo es aproximadamente de 3.100.

Esto significa que el número total de partículas beta producidas en un cuerpo humano de setenta kilos es de unas 22.100 por segundo. El 86% de ellas se deben al potasio-40, el 14% al carbono-14 y el 0,00014% al hidrógeno-3.

Si, tal como he dicho, la cantidad de potasio-40 presente en el cuerpo es tan pequeña que no resulta más peligrosa que el bombardeo de rayos cósmicos, podría parecer que lo mismo es válido para el carbono-14 y el hidrógeno-3 y que podríamos dejar de lado todo el tema.

¡Pero, un momento! Empecemos de nuevo.

No podemos atribuir la misma importancia vital a las distintas partes del cuerpo. Esto es evidente. Una bala en el hombro o en el pie no es ningún placer, pero no es probable que acabe con nosotros. Sin embargo, una bala en el cerebro o en el corazón nos matará rápidamente.

Del mismo modo, una partícula de gran energía al atravesar una célula puede chocar con un cierto número de moléculas de agua, o de moléculas grasas o de moléculas de almidón y no provocar daños irreparables. Si esta misma partícula choca con una molécula de ADN puede causar mucho daño, porque la molécula de ADN controla algún sector importante de la maquinaria celular y las lesiones en ella pueden producir una mutación que podría provocar cáncer o defectos de nacimiento.

Sin embargo, la masa de las moléculas de ADN en las células es aproximadamente 1/400 parte de la masa de toda la célula, por lo que las partículas que atraviesan la célula siguiendo direcciones aleatorias no suelen chocar con una molécula de ADN y consumen sus energías (como lo haría una bala en el hombro) provocando cambios relativamente poco importantes. Esto es así aunque la partícula provenga de alguna desintegración dentro del cuerpo.

Dicho con otras palabras, la mayor parte de la radiación que proviene del interior del cuerpo no es muy distinta de la radiación que llega del exterior del cuerpo. Sólo se da el caso real de un enemigo interno cuando el átomo radiactivo resulta estar situado dentro de la misma molécula de ADN.

Desde este punto de vista, podemos eliminar el potasio-40. No hay átomos de potasio dentro de una molécula de ADN. Sin embargo, en ella hay átomos de carbono y de hidrógeno, por lo tanto también debe haber, en pequeña proporción, átomos de carbono-14 y de hidrógeno-3.

De estos dos átomos, el de hidrógeno-3 produce únicamente una milésima parte de las desintegraciones que produce el átomo de carbono-14, que es mucho más abundante; por lo tanto podemos eliminar el hidrógeno-3, por poco importante, y centrarnos en el carbono-14.

Cada vez que un átomo de carbono-14 se desintegra, se convierte en un átomo de nitrógeno-14. Este cambio de carbono a nitrógeno cambia la naturaleza química de la molécula de ADN y esto, a su vez, produce una mutación, aunque sea difícil de apreciar su gravedad. Sin embargo, cuando el átomo de carbono-14 dispara al exterior una partícula beta, el cambio químico puede ser

lo de menos. El retroceso consiguiente de la explosión puede obligar al carbono-14 a romper los enlaces que lo unen con sus átomos vecinos. Dicho de otro modo, la molécula de ADN se romperá en dos y esta ruptura puede provocar una mutación que quizá tenga efectos graves.

Supongamos que calculamos el número de átomos de carbono que hay en las moléculas de ADN de una célula, y luego el número de estos átomos que son carbono-14.

He efectuado este cálculo de modo muy aproximado y creo que hay un átomo de carbono-14 en cada veinte células, y que por lo tanto se produce una desintegración por año en cada 24.000 células.

Esta cifra no parece muy grande, pero recordemos de nuevo que hay unos cincuenta billones de células en el cuerpo, con lo que tenemos al final seis desintegraciones de carbono-14 cada segundo en todas las distintas moléculas de ADN de un cuerpo de setenta kilos.

¿Qué son seis desintegraciones por segundo? Podríamos suponer que prácticamente nada, y si fueran desintegraciones ordinarias con partículas viajando a toda velocidad y al azar a través de la célula, estaríamos en lo cierto. En este caso, sin embargo, cada una de las desintegraciones produce una mutación en el momento mismo de la desintegración.

Es posible, desde luego, que la mayoría de estas mutaciones sea relativamente inofensiva. También es posible que varias mutaciones graves maten a una célula que luego pueda reemplazarse fácilmente.

Sin embargo, algunas células eliminadas de este modo (especialmente las células nerviosas y las células cerebrales) tal vez no puedan reemplazarse. También hay mutaciones que quizá no maten a una célula, pero que pueden convertirla en cancerosa. Podría afirmarse que las mutaciones importantes observadas en todos los organismos se deben casi siempre (aunque no del todo, por supuesto) a los átomos de carbono-14 presentes en las moléculas de ADN, y que el efecto de los rayos cósmicos, por ejemplo, pasa indirectamente por los átomos de carbono-14 que forman.

En un artículo corto, («La radiactividad del cuerpo humano»), aparecido en el número de febrero de 1955 de la revista *The Journal Of Chemical Education*, señalé por primera vez el peligro que supone el carbono-14 para las moléculas de ADN. (Sí, durante varios años a principios del decenio de 1950 escribí artículos para publicaciones eruditas. Este fue, casualmente, el último). Creo que tal vez fui el primero, o casi el primero, en señalar este aspecto. Willard Libby quizá se me haya adelantado por unos meses, pero no estoy seguro. De todos modos, yo no conocía su trabajo cuando escribí mi artículo. El último parágrafo de mi publicación dice lo siguiente: «*En vista de lo cual, sería interesante estudiar si una dieta alta en carbono-14 aumenta la velocidad de mutación en un animal como la Drosophila o la velocidad de formación de tumores en las especies de ratones con propensión al cáncer, y si existe alguna correlación entre el posible aumento de la mutagénesis o de la carcinogénesis, y el posible aumento del carbono-14 en los genesa). No sé si tales experimentos se llevaron a cabo alguna vez*».

Desde luego, yo no dispuse ni de la preparación ni del equipo necesarios para realizarlos por mí mismo. Tampoco sabía, en el momento de escribir el artículo, que las pruebas con bombas atómicas en la atmósfera estaban aumentando de modo notable el contenido atmosférico de carbono-14.

Linus Pauling, sin embargo, conocía la existencia de este aumento, y algún tiempo después vio claramente su importancia (y espero que mi artículo en *The Journal Of Chemical Education* —una revista que, según me dijo después, leía con regularidad— hubiera contribuido a su comprensión del fenómeno). Pauling inició enseguida una campaña para convencer a los dirigentes del mundo y al público en general de que cada explosión nuclear en la atmósfera aumentaba la incidencia de diferentes tipos de cáncer y de defectos genéticos, porque aumentaba la cantidad de carbono-14 en la atmósfera y, por lo tanto, en los genes.

Fue este argumento suyo, más que cualquier otra cosa, lo que condujo en 1963 al tratado sobre prohibición de pruebas y al final de las explosiones nucleares en la atmósfera.

Me siento bastante orgulloso de ello. Mi papel fue microscópico y concedo todo el mérito al profesor Pauling, pero de todas las buenas ideas científicas que he tenido en mi vida, y he tenido

unas cuantas, creo que ésta fue la mejor.

5. El Portador De Luz

Ayer me entrevistó un periodista soviético ante las cámaras de televisión. Los soviéticos me entrevistan de vez en cuando porque mi ciencia-ficción es popular en la Unión Soviética, y porque nací allí.

Generalmente me entrevistan para que hable de paz, amor y cooperación entre los países, y siempre les aseguro que estoy a favor de las tres cosas y suelo mostrarme elocuente. Sin embargo, ayer me entrevistaron para hablar de ciencia-ficción y de mí mismo y, como pueden muy bien imaginar, al sacar a colación mi tema favorito, mis ojos relucieron con luz celestial y mi elocuencia alcanzó cimas increíbles.

Cuando me llegó el momento de disertar sobre el tema de la robótica, me detuve de pronto y dije: «Yo inventé la palabra, ¿lo sabía?» El entrevistador mostró interés y sorpresa y quiso entrar en detalles.

Más tarde pensé en ello. Mi interés por atribuirme este mérito es tan intenso que he conseguido que mi invención de la palabra se mencione en los diccionarios estadounidenses; y ahora estoy difundiendo también la buena nueva por todo lo largo y ancho de la Unión Soviética. ¿Es eso justo?

Pensemos en todos los grandes descubridores que han sido olvidados para siempre porque no tuvieron a su disposición las comunicaciones modernas. Alguien debió de haber inventado la rueda, pero ¿cómo podía difundir o conservar la gran noticia de su hazaña?

Nadie sabe quién domesticó el fuego por primera vez, quién tuvo la idea de fundir el cobre de las rocas azules, a quién se le ocurrió atar a las cabras y robarles su leche, o quién dijo por primera vez: «Mira, plantemos grano, cuidémoslo durante todo el verano, y así tendremos un montón de comida en el invierno»). En vista de lo cual, parece vergonzoso que yo esté dispuesto a obligar al mundo entero a recordar que inventé una palabra.

Por supuesto, después de una serie de descubrimientos parecidos, llegará un momento en que empiece a recordarse el nombre de un descubridor real. Por ejemplo ¿quién fue la primera persona, de nombre conocido, que descubrió un elemento químico? ¿De qué elemento se trataba y cuándo se descubrió? Como de costumbre, empezaré por el principio.

Del centenar largo de elementos conocidos actualmente, por lo menos nueve se conocían ya en la antigüedad.

No se los reconocía en aquel momento como elementos (las diversas sustancias fundamentales que componen el universo a nivel atómico), pues los antiguos tenían sus propios conceptos, equivocados, sobre lo que es un elemento, pero eso no viene al caso. Hablaremos sobre los elementos según conceptos contemporáneos.

Siete de los primeros elementos conocidos eran metales. Se conocían porque da la casualidad de que existen en pequeñas cantidades, en forma elemental razonablemente pura, y porque esa forma elemental es fácilmente reconocible.

Es decir, que si alguien se encontraba con una pepita de oro, inmediatamente se daba cuenta de que era algo amarillo y brillante, con un aspecto diferente a los guijarros ordinarios. La pepita, aparte de su aspecto, era mucho más pesada que los demás guijarros del mismo tamaño y si se golpeaba con una hacha de piedra no se descascarillaba ni se astillaba, sólo se deformaba. No es extraño pues que, dada la belleza y manejabilidad del oro, se encuentren ornamentos de este metal

en las cuevas prehistóricas de Egipto y Mesopotamia.

El oro se convirtió en algo preciado a causa de sus propiedades, y al ser uno de los elementos más raros, los descubrimientos eran escasos y por lo tanto dignos de tenerse en cuenta. Se buscaron también otras sustancias similares. La propia palabra «metal» procede de una palabra griega que significa «buscar».

La plata es quizá veinte veces más común que el oro, pero también es más activa químicamente, y por lo tanto es más probable que exista combinada con otros elementos en forma de «minerales». Estos minerales de plata carecen de propiedades metálicas y se parecen mucho a las rocas vulgares. Las pepitas de plata se descubrieron por tanto después que las pepitas de oro, pero se conocían ya en épocas prehistóricas.

Más tarde, cuando se aprendió a separar un metal de sus minerales, calentándolos en condiciones adecuadas, la plata se hizo más común que el oro.

El cobre es tal vez cuatrocientas cincuenta veces más común que la plata y nueve mil veces más común que el oro, y aunque es incluso más activo químicamente que cualquiera de los otros dos, puede encontrarse, sin demasiada dificultad, en su estado elemental. Es posible que el cobre se utilizara para ornamentos incluso antes que el oro.

Después de fundir el mineral de cobre, el cobre podía utilizarse, incluso en grandes cantidades, para fabricar herramientas y armas.

El hierro es uno de los elementos más comunes, más de mil veces más común que el cobre, pero es tan activo que en condiciones normales siempre se encuentra como mineral y no en su forma elemental. Es también mucho más difícil fundir mineral de hierro que fundir minerales de plata o de cobre. De hecho, no fue hasta 1500 a. J.C. que los hititas hallaron un método práctico para fundir el mineral de hierro.

Sin embargo, en ocasiones el hierro metálico cae del cielo en forma de meteorito y estos meteoritos permitieron conocer el hierro en su forma elemental incluso en épocas prehistóricas.

El plomo es sólo un tercio de común que el cobre, pero se obtiene con facilidad de su mineral. Al fundir minerales para conseguir la plata y el cobre deseados, cualquier mineral de plomo añadido casualmente a la mezcla produciría plomo.

El plomo es tan apagado y feo como lustroso y bello es el oro, de modo que si el oro era el «metal noble» por excelencia, el plomo era el «metal vil» por antonomasia.

Sin embargo el plomo tenía su valor. En primer lugar, era la sustancia más densa que conocían los antiguos, aparte del oro, de modo que si uno quería que un objeto fuera pequeño y pesado a la vez, y no podía permitirse utilizar oro, el mejor sustituto era el plomo. Por otro lado, el plomo era bastante blando y podía adoptar fácilmente la forma de tuberías para conducir agua. Estas sustituyeron finalmente a las tuberías de arcilla, que se rompían con facilidad.

El estaño se descubrió probablemente de forma indirecta. Los minerales de cobre que producían cobre relativamente puro daban un metal demasiado blando para utilizarlo en herramientas, armas y armaduras. Pero si se añadía otro mineral al mineral de cobre, el resultado era una aleación metálica mucho más dura que el propio cobre.

Esta mezcla se llamó «bronce» y el aditivo misterioso es el estaño metálico. Los héroes de la guerra de Troya tenían escudos de bronce, armaduras de bronce y puntas de espada de bronce. Vivían en la «edad de Bronce», que sucedió a la «edad de Piedra» y a la que seguiría la «edad de Hierro».

El estaño podía fundirse a partir de sus minerales y luego combinarse con el cobre para conseguir mejores proporciones de calidad y precio. Sin embargo la abundancia del estaño es sólo una quinceava parte de la del cobre, y las minas de estaño de la región del Mediterráneo se agotaron relativamente pronto. (Esta fue la primera desaparición de un recurso vital en la historia). Los fenicios se aventuraron después por el Atlántico para localizar mineral de estaño en las «islas del Estaño» (identificadas generalmente con Cornwall) y se enriquecieron con ello.

El mercurio fue el último de los metales antiguos en descubrirse, lo cual fue un logro muy

notable, pues se trata de un líquido.

Además de estos siete metales, hay dos elementos no metálicos que existen, de modo muy perceptible, en su estado elemental. Uno de ellos es el azufre, que tiene un marcado color amarillo, pero que carece totalmente del bello lustre metálico del oro. Era inevitable que en la antigüedad la gente se encontrara con el azufre.

Lo más notable del azufre era que ardía, tal como debieron de notar por fuerza quienes intentaban encender una hoguera en las proximidades de cierta cantidad de azufre.

Todos los combustibles conocidos por los antiguos derivaban de cosas vivas: madera, aceites y otros. El azufre era la única sustancia sin conexión con la vida que ardía fácilmente, por lo que recibió, como en inglés, un nombre equivalente a «piedra ardiente»: «burnstone» o «brimstone».

La combustión del azufre es muy notable porque no sólo arde con una misteriosa llama azul, sino que también libera en el proceso un gas insoportable e irritante. Este hecho, combinado con la notable presencia de su irritante olor en las inmediaciones de volcanes activos, dio sin duda origen al concepto de un infierno subterráneo, donde no sólo ardía un fuego eterno, sino que para más incomodidad el azufre era el principal combustible (de aquí viene la expresión «fuego y azufre»).

Finalmente está el carbón. Cualquier hoguera encendida cerca de una roca o dentro de una cueva dejará un depósito de hollín sobre la roca, y este hollín es prácticamente carbón puro. Asimismo, si se quema una pila de madera cuando el acceso de aire está limitado, la madera del interior de la pila no se quema totalmente. Se deposita una sustancia negra, que, si se inflama en contacto libre con el aire, arderá con menos llama y con una temperatura considerablemente superior a la madera original. Esta sustancia negra es carbón de leña, y también es prácticamente carbón puro.

Es evidente que el hombre antiguo debió de conocer la existencia del hollín y del carbón de leña.

Además de estos nueve elementos, hay otros elementos más que debieron de haberse aislado por lo menos en la Edad Media, pero cuya historia inicial apenas conocemos hoy.

Por ejemplo, antes de que se utilizara la mezcla ordinaria de cobre y estaño que llamamos bronce, los primeros trabajadores del cobre habían descubierto que el mineral de cobre mezclado con otro tipo de mineral (no con mineral de estaño) también producía una aleación de cobre considerablemente más dura que el cobre puro.

Pero trabajar con este bronce primitivo era peligroso, y el índice de mortalidad entre quienes extraían el segundo mineral y lo mezclaban con mineral de cobre era elevado. Resulta que el segundo mineral era un mineral de arsénico, y cuando apareció el mineral de estaño, el mineral de arsénico, muy razonablemente, dejó de utilizarse.

Desde luego, descubrir y utilizar un mineral no es lo mismo que aislar el elemento que contiene. Sin embargo, cuando los seres humanos aprendieron a obtener, de sus respectivos minerales, metales como el cobre, el estaño, el plomo, el mercurio y el hierro, parecía razonable suponer que podría fundirse con éxito cualquier mineral cuyo elemento no estuviera fijado en él con demasiada fuerza.

A partir del mineral de arsénico no es difícil obtener arsénico, y probablemente el proceso se llevó a cabo en diversas ocasiones en la antigüedad y a principios de la Edad Media. Sin embargo, en aquella época los descubrimientos científicos no se divulgaban mucho si no comportaban aplicaciones útiles. Los minerales de arsénico eran venenosos y pocas personas debieron de trabajar con ellos.

El arsénico obtenido no tenía ningún uso determinado, así que cayó en el olvido.

La primera persona que informó al mundo culto de la existencia del arsénico elemental fue Alberto Magno (1193-1280), un sabio alemán. Lo preparó a partir de su mineral y lo describió en sus escritos con tanto cuidado y exactitud que no hay duda de que lo obtenido fue arsénico. Por este motivo se considera a veces que Alberto Magno «descubrió» el arsénico hacia el año 1230. De ser cierto esto, él sería la primera persona con nombre, fecha y lugar conocidos que descubrió un elemento; pero eso no es estrictamente cierto. Es muy probable que hubieran aislado el arsénico

mucho antes personas de nombres desconocidos.

Hay que citar también unos pigmentos negros que se utilizaron en la antigüedad para oscurecer las cejas y las pestañas, como el maquillaje de los modernos. Estos pigmentos pudieron haberse utilizado en Egipto ya en el año 3000 a. J.C.

Uno de estos pigmentos se llama «estibnita» en la época moderna, y los romanos lo llamaron «stibium».

El pigmento es, químicamente, sulfuro de antimonio.

El antimonio se parece al arsénico en sus propiedades químicas, y si el arsénico puede extraerse fácilmente de su mineral de sulfuro en forma elemental, puede hacerse lo mismo con el antimonio. Es más, así se hizo. Hay una vasija procedente de un antiguo yacimiento de Mesopotamia que se remonta posiblemente al año 3000 a. J.C., y que es casi antimonio puro. También se han encontrado otros objetos antiguos que contienen antimonio.

La primera discusión erudita sobre el antimonio se halla en un libro titulado *El carro triunfal del antimonio*. Se supone que fue escrito en 1450 y se atribuye a un monje alemán llamado Basilio Valentín. Por ese motivo, Valentín se cita a veces como el descubridor del antimonio, pero desde luego no lo fue. De hecho, ni siquiera hay pruebas evidentes de su existencia real y el libro pudo haberlo escrito, hacia 1600, alguien que lo atribuyó a un monje del pasado para que lo tomaran más en serio.

El elemento bismuto, que es también un miembro de la familia de elementos del arsénico, pudo haberse aislado en el siglo XV, o, en opinión de algunos, incluso antes.

Finalmente está el cinc. En la antigüedad, los minerales de cinc se mezclaban con los de cobre y la aleación resultante de cobre y cinc era el «latón». El latón se caracteriza por tener un color muy parecido al del oro. No comparte ninguna de las demás propiedades del oro, pero hay épocas en que basta un aspecto semejante.

Hubiera sido muy fácil obtener cinc elemental a partir de sus minerales, pero a la elevada temperatura de fundición el cinc tiene tendencia a evaporarse y a desaparecer.

(El cinc es un miembro de la familia de elementos a los que pertenece el mercurio, con un punto de fusión y de ebullición bajos). Sin embargo, es bastante probable que el cinc elemental se obtuviera ya en época de los romanos.

Esta era, pues, la situación en 1674. Se conocían en aquel entonces trece sustancias hoy reconocidas como elementos. Son, por orden alfabético: antimonio, arsénico, azufre, bismuto, carbón, cinc, cobre, estaño, hierro, mercurio, oro, plata y plomo. Todos se conocían en forma razonablemente pura, pero no puede atribuirse el descubrimiento de ninguno de ellos a una época, lugar o persona determinados.

Y todo esto nos lleva al fósforo.

La palabra «fósforo» entró a formar parte del vocabulario científico en la antigüedad. A veces aparece en el cielo de poniente una estrella muy brillante después del atardecer, mientras que otra semejante aparece en el cielo de levante antes del amanecer. Son el «lucero de la tarde» y el «lucero del alba», respectivamente. Al principio, los griegos los consideraron dos objetos separados. Llamaron al lucero de la tarde «Hesperos» (o Hesperus en latín), de la palabra «poniente», y al lucero del alba «Phosphoros» (o Phosphorus en latín), que significa «portador de luz». Este segundo nombre recuerda que cuando el lucero del alba sale en oriente, el alba llegará enseguida.

Los romanos dieron a los dos objetos nombres latinos con el mismo significado que los nombres griegos: «Vesper» para la estrella de la tarde y «Lucifer» para la estrella de la mañana.

Sin embargo, al final se comprendió que la estrella vespertina y la estrella matutina eran el mismo objeto (gracias, sin duda, a la más avanzada astronomía babilónica) y los dos nombres cayeron en desuso. La estrella (o en realidad, el planeta) empezó a conocerse como «Afrodita» entre los griegos y como «Venus» entre los romanos y nosotros.

Y con ello, el «fósforo» desapareció del vocabulario científico durante un poco más de dos mil años, hasta que llegamos a la época de Hennig Brand, un químico alemán que nació hacia 1630

y que murió hacia 1692.

Brand trabajó dentro de la tradición de los alquimistas (se le llama a veces «el último alquimista»); deseaba descubrir alguna sustancia que catalizara la conversión de los metales viles en oro, o por lo menos la conversión de la plata en oro.

Se le ocurrió la idea (ignoramos el motivo) de que podía obtener una sustancia catalítica a partir de la orina. Así pues, en 1674 se dedicó a la actividad bastante maloliente de hervir una gran cantidad de orina hasta que hubo aislado en sus vasijas el material disuelto en forma de costra espesa. Esta costra contenía, entre otras cosas, lo que nosotros llamaríamos «fosfato sódico».

Brand trató luego el residuo sólido con el método usual de fundición de los minerales, para intentar extraer un nuevo metal que sirviera de catalizador en la producción de oro. El fosfato sódico, tratado de este modo, liberaba algunos de sus átomos de fósforo y Brand pudo aislar una cierta cantidad de fósforo razonablemente puro.

Nadie había visto hasta entonces fósforo elemental; nadie había sospechado siquiera su existencia. Fue el primer elemento que se aisló en la era moderna, el primero que se aisló en una fecha conocida (1674), en un lugar conocido (Hamburgo) y por una persona conocida (Hennig Brand).

Pero ¿por qué emocionarse con esta historia? Descubrir una nueva sustancia con propiedades desconocidas hasta el momento era desde luego interesante, pero el hecho tenía todavía más importancia.

Lo emocionante era que la nueva sustancia lucía con un brillo verdoso en la oscuridad. Esta propiedad era misteriosa y espectral, y Brand dio a su descubrimiento el nombre de «fósforo», porque era una sustancia «portadora de luz», y de este modo la palabra se introdujo de nuevo en el vocabulario científico con un sentido totalmente distinto del utilizado por los antiguos griegos.

Es cierto que había algunos minerales que brillaban en la oscuridad, fenómeno que ahora llamamos «fosforescencia» (y que no tiene una relación especial con el fósforo, a pesar de la semejanza de los nombres). Sin embargo, la fosforescencia se produce únicamente después de haber expuesto el mineral a la luz, y la luz que produce en la oscuridad se desvanece con bastante rapidez a medida que pasa el tiempo. En cambio, el fósforo brilla aunque no haya estado expuesto a la luz, y el brillo se mantiene durante largo tiempo.

El brillo del fósforo produjo la misma emoción entre los químicos de la época de Brand que el radio brillante aislado por Marie Curie entre los químicos de más de dos siglos después. (Hay diferencias, claro está. El fósforo brilla porque se combina de modo espontáneo y lento con el oxígeno, liberando energía química que se convierte parcialmente en luz. El radio brilla porque su núcleo se desintegra espontáneamente, produciendo energía nuclear que se convierte parcialmente en luz).

Gracias al interés que despertó su brillo, otros químicos intentaron obtener fósforo para su uso. Uno de ellos acudió a Brand para que le enseñara a hacerlo; después de aprender, pasó a la acción y luego se proclamó (sin éxito) el descubridor real. El químico británico Robert Boyle (1627-1691) aisló el fósforo de modo independiente en 1680, pero el retraso fue de seis años y Brand se llevó el mérito.

El fósforo pertenece a la misma familia de elementos que el arsénico, el antimonio y el bismuto. El antimonio y el bismuto son metales y el arsénico se considera semimetal, pero el fósforo, formado por átomos decididamente más pequeños que los otros tres elementos, no es en absoluto un metal. Tal como Brand lo preparó, el fósforo es un sólido blanco y céreo, por lo que recibe con frecuencia el nombre de «fósforo blanco».

Como es lógico, alguien buscó la manera de sacar provecho de esta relación entre el fósforo y la luz. El estudioso alemán Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) propuso entusiasmado que un trozo grande de fósforo blanco podía utilizarse para alumbrar una habitación, con lo que podría prescindirse de los cirios.

Sin embargo, era tal la dificultad de fabricar fósforo en una pieza de material lo bastante grande para iluminar una habitación que costaría tanto como tener los cirios encendidos

indefinidamente.

Además, el fósforo brillante emite calor acompañando la luz, y si está en contacto con algo inflamable puede, al cabo de un rato, prenderle fuego. De hecho, los químicos que al principio trabajaban despreocupadamente con el fósforo (como sucedió luego con los químicos que no tomaron precauciones con el radio) acabaron prendiendo fuego por descuido a sus casas y lugares de trabajo.

Esto planteó la cuestión de encender un fuego con medios químicos.

Hasta entonces los fuegos se encendían por fricción. Se frotaba un trozo de madera con otro hasta que el calor desarrollado conseguía prender fuego a un poco de yesca y el pequeño fuego iniciado podía servir para encender otro mayor. O bien podía golpearse pedernal y acero para crear una chispa de hierro encendido que prendía fuego a la yesca.

¿Por qué no recubrir el borde de una astilla de madera (o de papel grueso) con alguna sustancia química adecuada que permitiera, en un momento dado, inflamar la madera o el papel? Tendríamos de este modo un pequeño fuego que duraría lo bastante para encender otro mayor y de más duración. Tendríamos, en resumen, una cerilla.

Estas cerillas químicas empezaron a fabricarse en los primeros decenios del siglo XIX. Algunas no utilizaban fósforo. Un tipo de ellas era una mezcla húmeda que incluía el compuesto químico activo clorato potásico encerrado en una cuenta de cristal en la punta de un palito, todo ello envuelto en papel. Cuando se rompía la cabeza, el clorato potásico prendía fuego al papel. Este invento recibió el nombre de «cerillas prometeicas», de Prometeo, el dios de los mitos griegos que trajo el fuego del sol a los humanos.

Era un tipo de cerilla muy lento y complicado, como puede uno muy bien imaginarse.

Otro tipo de cerilla no prendía fuego espontáneamente.

Era preciso aumentar su temperatura golpeándola, es decir, frotándola sobre una superficie áspera. La fricción producía el calor que inducía un cambio químico en la punta activa y creaba una llama. Estas «cerillas de fricción», fabricadas sin fósforo, se llamaron «cerillas de Lucifer», de la palabra latina que significa «portador de luz».

Estas cerillas desempeñaron un papel menor en la historia de Estados Unidos. Los estadounidenses las llaman cerillas «loco-foco», en parte porque «loco-foco» sugería autoignición por analogía con «locomotora», que podía interpretarse como «automóvil», y en parte por una distorsión de «Lucifer».

En 1835, el ala liberal del Partido Demócrata de la ciudad de Nueva York estaba enzarzada en una animada disputa con su ala conservadora. En una reunión del partido, los conservadores, que se olían la derrota, apagaron las luces para dar la reunión por finalizada. Sin embargo, los liberales encendieron los cirios con sus loco-focos y continuaron la reunión. Después de esto, y transcurrido un tiempo, los demócratas conservadores llamaron a los liberales «doco-focos», como expresión de desprecio, y el otro partido, los whig, aplicaron alegremente el nombre a todos los demócratas.

Las cerillas de Lucifer, que no tenían fósforo, eran difíciles de encender, y cuando acababan prendiendo emitían a veces una lluvia de chispas que podía quemar el vestido y las manos.

Sin embargo, en 1831 un francés llamado Charles Sauria fabricó la primera cerilla de fricción de tipo práctico, que contenía fósforo en forma de fósforo activo diluido con otros materiales para que las cerillas no se inflamaran hasta el momento de golpearlas. Estas cerillas o fósforos producían llama de modo rápido y silencioso al golpearlas y no se deterioraban con el tiempo. Al final acabaron eliminando todos los demás tipos de cerillas.

Había un problema. El fósforo utilizado en las cerillas era muy venenoso y las personas que trabajaban en su fabricación acababan absorbiendo el fósforo en el cuerpo, al que causaba degeneración ósea. La enfermedad se llamaba «mandíbula fosforosa» y mataba de modo lento y penoso a los afectados.

También en este caso puede trazarse una analogía especial con lo que sucedió un siglo después con el radio. Al principio no se apreció bien el peligro del radio y de las sustancias

radiactivas, y el radio se mezcló en pequeñas cantidades con materiales que se pintaban sobre las esferas de los relojes para que las cifras y las manecillas brillaran en la oscuridad.

Quienes trabajaban en las fábricas manejando el radio contrajeron la enfermedad de la radiación y murieron de ello; finalmente se prohibió todo el proceso. (Recuerdo que cuando yo era joven llevaba un reloj pintado con radio). Afortunadamente, un químico austríaco, Anton von Schrötter (1802-1875), descubrió en 1845 que si se calentaba fósforo blanco en una atmósfera de nitrógeno o de dióxido de carbono (con la cual no reacciona), sus átomos se reordenan y se convierte en otro tipo de fósforo llamado, por su color, «fósforo rojo».

La ventaja del fósforo rojo es que no es tóxico y puede utilizarse con relativa seguridad. Así pues, hacia 1851 Schrötter fabricaba y recomendaba cerillas de fósforo rojo.

Sin embargo el fósforo rojo no es tan activo como el fósforo blanco y las cerillas de fósforo rojo no dan llama con tanta facilidad. Por este motivo las cerillas de fósforo blanco continuaron siendo populares hasta fines de aquel siglo, cuando se prohibieron. La sociedad, obligada a escoger entre la muerte sistemática y una pequeña molestia, escogió, con el retraso y la reluctancia habituales, la molestia.

Sin embargo, con el tiempo las cabezas de las cerillas de fósforo rojo se perfeccionaron químicamente hasta que resultaron muy fáciles de prender.

El siguiente paso fue fabricar «fósforos de seguridad».

Los fósforos corrientes podían prenderse golpeándolos sobre cualquier superficie áspera, puesto que todas las sustancias químicas necesarias para producir una reacción química que desencadenara calor y llama estaban ya en la cabeza de la cerilla. Las igniciones accidentales provocaban daños no intencionados y lesiones, y podían provocar incluso muertes.

Supongamos, sin embargo, que eliminamos un ingrediente de la cabeza de la cerilla —por ejemplo, el fósforo rojo— y que lo ponemos en una tira especial. El fósforo de seguridad, que ahora contiene distintas sustancias químicas, pero que no contiene fósforo, se encenderá únicamente si se golpea contra la tira.

Pero ya basta por ahora. Continuaré hablando del fósforo en el capítulo siguiente.

6. Primero Los Huesos

El otro día me encontré atrapado en un estrado participando en un almuerzo donde no estaba previsto que yo hablara. Esto era suficiente para que una expresión de desagrado adornara mi rostro juvenil. ¿Por qué fastidiarme sentándome en el estrado en lugar de hacerlo en una mesa normal con mi querida esposa Janet, si no iban a aprovechar mi presencia?

Como es lógico me presentarían al público, lo que significaba que por lo menos podría levantarme y sonreír amablemente. Resultó, sin embargo, que el presentador no había oído hablar nunca de mí, y destrozó tanto mi nombre cuando intentó pronunciarlo que interrumpí inmediatamente el acto de levantarme y me negué a sonreír.

Parecía, pues, que aquél no iba a ser mi día. Por pura desesperación me entretuve escribiendo una quintilla descarada a la mujer que estaba sentada a mi izquierda, y que sí me conocía. (En realidad era la responsable de mi presencia en aquel incómodo lugar). Supongo que ella notó mi estado de ánimo y se propuso alegrarme ofreciéndome a la atención de los demás. Se volvió al hombre de su izquierda y le dijo:

—Mire qué quintilla más divertida me ha escrito el doctor Isaac Asimov.

El hombre de negocios miró el papel con ojos apagados y luego, levantando la mirada hacia mí, preguntó:

—¿Acaso es usted escritor?

¡Vaya! No espero que la gente lea obligatoriamente mis escritos, pero tanto si lo hacen como si no, confío en que por lo menos tengan la vaga sospecha de que soy escritor.

Mi amiga de la izquierda, al observar que mi mano se deslizaba al lado del plato hacia el cuchillo, dijo apresuradamente:

—Claro que lo es. Ha escrito trescientos cincuenta libros.

El individuo aquel, sin impresionarse, preguntó:

—¿Trescientas cincuenta quintillas?

—No, trescientos cincuenta libros.

Entonces tuvo lugar la siguiente conversación entre el hombre y yo:

Hombre (sin querer soltar mi quintilla): ¿Es usted irlandés?

Asimov: No.

Hombre: Entonces, ¿cómo puede escribir quintillas?

Asimov: Nací en Rusia y escribo odesas[1]*.*

Hombre (con cara de incomprensión): ¿Utiliza un procesador de textos?

Asimov: Sí.

Hombre: ¿Puede imaginarse trabajando ahora sin él?

Asimov: Desde luego.

Hombre (sin hacer caso): ¿Puede imaginarse lo que le hubiera pasado con Guerra y paz *si Dostoievski hubiera dispuesto de un procesador de textos?*

Asimov (despreciativo): Nada en absoluto, porque Guerra y paz *la escribió Tolstoi.*

---

1 Si por un raro azar no entiende la broma, Limerick, la patria de las quintillas, es una ciudad del sudoeste de Irlanda, y Odessa está en el sudoeste de Rusia.

Esto dio por finalizada la conversación y yo centré mis esfuerzos en sobrevivir al almuerzo, lo cual conseguí pero no por mucho.

Sin embargo, no todo se había perdido. Después de trabar conocimiento con un ossobuco decidí que comenzaría mi siguiente ensayo para Fantasy and Science Fiction *tratando de los huesos.*

La vida, tal como la conocemos en la Tierra, se sustenta sobre una base acuosa en la cual están disueltas o suspendidas moléculas de distintos tamaños. En general esto significa que las formas vivas pueden ser blandas y esponjosas; por ejemplo, como una lombriz. Es posible ir tirando con un cuerpo blando y esponjoso, y todos los seres vivos se las arreglaron así hasta que la Tierra alcanzó las siete octavas partes de su edad actual. Hace, pues, relativamente poco que la vida creó la partes duras.

Es evidente que las pequeñas partes vivas, incluso en su estado más blando y esponjoso, no pudieron existir como simples soluciones acuosas inmersas en el océano, porque se dispersarían y se desharían. Cada trozo de vida tuvo que disponer de alguna película exterior que mantuviera unida la maquinaria de la vida y la separara del entorno marino.

Esto se consiguió formando macromoléculas (cadenas de pequeñas moléculas) que constituyeron membranas celulares. Las células de las plantas, basadas en unidades de azúcar, formaron celulosa a partir de largas cadenas de moléculas de glucosa, y ésta es ahora la molécula orgánica más corriente que existe. La celulosa es un componente básico de la madera. El algodón, el lino y el papel son prácticamente celulosa pura.

Las células animales no fabrican celulosa. Se aprovecharon de otras macromoléculas (por ejemplo, las proteínas) para conseguir la necesaria coherencia. La queratina, una proteína fuerte, es un componente importante de la piel, las escamas, el pelo, las uñas, las pezuñas y las garras. Otra proteína fuerte, el colágeno, se encuentra en ligamentos, tendones y en general en el tejido conjuntivo.

Pero hace unos seiscientos millones de años, y de modo bastante repentino en la escala evolutiva, varios grupos animales («fílums») aprendieron el truco de utilizar sustancias inorgánicas a modo de paredes de protección. Estas paredes tenían básicamente una naturaleza rocosa y eran más duras, más fuertes y más impenetrables al medio ambiente que todos los sistemas basados en materias orgánicas. (También eran más pesadas, menos sensibles, menos capaces de responder, y a menudo obligaban a estos seres agobiados por la materia a adoptar una vida inmóvil). Estos «esqueletos» sirvieron no sólo de protección, sino como un buen lugar para fijar los músculos, que de este modo podían tirar más duro y con más energía. Además, son estas partes duras los componentes principales de los restos fósiles de la vida que descubrimos en las rocas sedimentarias. Al ser su naturaleza parecida, de entrada, a la de la roca, pueden experimentar fácilmente cambios (en circunstancias determinadas) que los convierten en algo más rocoso todavía. Pueden conservar su forma y volumen original durante centenares de millones de años. Debido a esto, los fósiles sólo abundan en rocas de edad inferior a seiscientos millones de años. Antes de aquella época no había partes duras que pudieran fosilizarse.

Los animales más simples que desarrollaron un esqueleto fueron unos animales unicelulares: los «radiolarios».

Estos seres microscópicos tienen bellos esqueletos de intrincadas espículas inorgánicas compuestas de sílice (dióxido de silicio), la sustancia característica de la arena.

Sin embargo, la sílice, si bien es extraordinariamente corriente, no se convirtió en la materia general de los esqueletos. Al parecer su manejo es demasiado difícil para un organismo. Por ejemplo, los seres humanos, al igual que la vida animal en general, no contienen compuestos de silicio como partes esenciales de nuestros cuerpos. Si hay compuestos de este tipo presentes en nosotros, se trata de impurezas temporales ingeridas con la comida.

Al aparecer los animales multicelulares más simples se inició la tendencia a formar esqueletos constituidos por compuestos de calcio, especialmente carbonato de calcio, que se llama también

«piedra caliza».

Las conchas de los miembros del tipo de los moluscos (almejas, ostras, caracoles) están formadas por carbonato de calcio. Lo mismo puede decirse de los miembros de otros fílums como los corales, los briozoos, etc. Hay que decir que los cascarones de los huevos de reptiles y aves son también de carbonato de calcio.

Sin embargo el tipo de los artrópodos llegó a un compromiso. Estos animales no se quedaron aplastados bajo un pesado caparazón que los hubiera obligado a guardar la inmovilidad de una ostra. Evitaron del todo el reforzamiento inorgánico y conservaron la primitiva dependencia con respecto a las macromoléculas orgánicas, aunque mejoradas.

Los artrópodos (que incluyen animales como las langostas, los cangrejos, las gambas, los insectos de todo tipo, las arañas, los escorpiones, los ciempiés, etc.), tienen un esqueleto de «quitina», de una palabra griega que significa armadura, o concha.

La quitina es una macromolécula formada por unidades de azúcares, de modo muy parecido a la celulosa, pero con una diferencia. La celulosa está formada por unidades de glucosa (que es un azúcar muy corriente y sencillo), en cambio la quitina está formada por unidades de glucosamina. Las glucosas en la cadena de la quitina están modificadas individualmente por la presencia de un pequeño grupo que contiene nitrógeno, y esto basta para que las propiedades de la quitina sean muy diferentes de la celulosa.

La quitina tiene fuerza suficiente para servir de protección, también es flexible, y es tan ligera que permite un movimiento rápido y activo. De hecho, los insectos, a pesar de sus delgados esqueletos de quitina, son tan móviles que pueden volar. (Como es lógico, si pueden volar es a cambio de quedarse muy pequeños).

La quitina puede ser una de las razones que expliquen el increíble éxito de los artrópodos. Hay muchas más especies de artrópodos que de todos los demás fílums juntos.

Esto nos lleva a los cordados, el último tipo aparecido en la Tierra (a partir de antepasados parecidos a las estrellas de mar), hace unos 550 millones de años.

Los cordados se diferencian de todos los demás seres, primero, en que tienen una cuerda nerviosa que es hueca en lugar de sólida, y que está situada a lo largo de la espalda y no del vientre. En segundo lugar, tienen rendijas para las agallas por las cuales pueden absorber agua y filtrar el alimento (aunque en los cordados de vida terrestre estas rendijas sólo se desarrollan en la fase embrionaria). En tercer lugar, disponen de una vara reforzada, llamada notocordio, que sigue un curso paralelo a la cuerda nerviosa (aunque también el notocordio puede estar presente únicamente en las fases embrionarias o larvales).

El notocordio está compuesto principalmente de colágeno y es un ejemplo de esqueleto interno, al contrario de los esqueletos externos de los demás tipos. Los esqueletos internos aparecen, de modo imperfecto, en algunos casos más dentro de otros tipos, pero sólo los cordados avanzaron especializándose en este rasgo. Los cordados dieron un paso más que los artrópodos. Dejaron la piel externa sin protección y conservaron el esqueleto interior que mantiene la forma y la integridad y que actúa como superficie de anclaje de los músculos. La blandura y vulnerabilidad de la piel no protegida queda más que compensada por la fuerza, energía y movilidad que los cordados pueden desarrollar gracias a su esqueleto interno, relativamente ligero.

La armadura que había protegido la cabeza se convirtió en el cráneo para proteger el cerebro y los órganos de los sentidos. El hueso se extendió también al resto del esqueleto. De este modo los «osteíctios» (del griego «pez óseo») se desarrollaron hace unos 420 millones de años y continúan dominando todavía las aguas de la Tierra.

Los anfibios evolucionaron a partir de los peces óseos; los reptiles evolucionaron a partir de los anfibios; las aves y los mamíferos evolucionaron a partir de los reptiles.

Todos ellos han conservado el esqueleto óseo interno. Esto, como es lógico, nos incluye también a nosotros. Es lo que nos caracteriza como vertebrados. Ningún ser que no sea vertebrado está dotado de huesos.

El hueso, como las conchas de las ostras, es un compuesto de calcio. ¿En qué se diferencian,

pues, los huesos de las conchas de las ostras?

La primera persona que llevó a cabo un auténtico análisis químico del hueso fue el minerólogo sueco Johann Gottlieb Gahn (1745-1818). Utilizó el método nuevo, en aquel entonces, del análisis con soplete. El soplete producía una llama pequeña y caliente en la que podían calentarse los minerales. Un experimentador hábil podía interpretar con el soplete la forma de fusión o vaporización de los minerales, los colores que forman y las características de sus cenizas. En 1770 Gahn sometió los huesos al análisis con soplete y descubrió que contenían fosfato de calcio, cuya molécula, como puede deducirse del nombre, contiene un átomo de fósforo.

En el capítulo anterior expliqué que el fósforo se había descubierto justamente un siglo antes del descubrimiento de Gahn. Se había obtenido de la orina, lo cual indicaba que podía ser un componente del cuerpo (o una simple impureza que la orina eliminaba continuamente). Gahn fue el primero en señalar un lugar concreto del cuerpo donde podía encontrarse. El fósforo existía en los huesos.

Sin embargo, los huesos sólo existen en los vertebrados. ¿Cuál es la situación de los animales invertebrados? ¿Qué podemos decir de las plantas? ¿Se encuentra el fósforo únicamente en un lugar, o puede ser un componente universal de todas las formas de vida?

En 1804, un biólogo suizo, Nicolas Theodore de Saussure (1767-1845), publicó un cierto número de análisis de plantas diferentes, los minerales solubles en agua que contenían y la ceniza obtenida una vez quemadas. El fosfato estaba presente siempre en estos análisis, lo cual podía indicar que los compuestos del fósforo eran constituyentes universales de la vida vegetal y posiblemente de toda vida.

Por otra parte, las plantas podían absorber algunos átomos del suelo donde crecían, incluso algunos átomos, relativamente pocos, que no les servirían de nada. En tal caso, puesto que las plantas carecían de los eficientes sistemas de excreción de los animales, quizá almacenaban los átomos innecesarios en algunos rincones de sus tejidos y luego estos átomos aparecían en los análisis. Saussure descubrió, por ejemplo, pequeñas cantidades de compuestos de silicio y de compuestos de aluminio en las cenizas vegetales, e incluso hoy en día no hay datos que demuestren claramente que el silicio o el aluminio son componentes esenciales de la vida.

Podríamos partir del otro extremo y descubrir qué elementos contribuyen al crecimiento de las plantas. Desde los tiempos antiguos se sabía que al cultivar plantas, éstas extraían del suelo sustancias vitales, y que si no se restituían estas sustancias, el suelo se volvía progresivamente estéril. Mediante un proceso de prueba y error se descubrieron varios productos animales que actuaban como «fertilizantes»: sangre, huesos triturados, pescado en descomposición, etc. El fertilizante más corriente, porque estaba más a mano, era estiércol animal (o humano). Su utilización era tan corriente que, incluso hoy en día, «fertilizante» es un eufemismo por estiércol.

El problema con el estiércol y otros productos animales es que son muy complejos desde el punto de vista químico, y no podemos estar seguros de cuáles son los componentes que llevan a cabo la tarea concreta de fertilizar —porque son sustancias esenciales para el crecimiento de la planta— y de qué componentes actúan como simples acompañantes.

Sin embargo, en el siglo XIX hubo un movimiento para sustituir el estiércol. En primer lugar, el estiércol huele mal (como todos sabemos) y convierte en un mito el famoso «aire fresco» del campo. En segundo lugar, el estiércol contiene gérmenes de enfermedades, y probablemente contribuyó a iniciar o a agravar las epidemias que afectaron el mundo en otras épocas.

El químico alemán Justus von Liebig (1803-1873) fue el primero en estudiar a fondo los abonos químicos y en 1855 había demostrado, con bastante claridad, que los fosfatos eran esenciales para fertilizar los cultivos.

Si los fosfatos son esenciales para las plantas, y al parecer también para los animales, deben estar presentes en otros tejidos, aparte de los huesos. Deben estar presentes en los tejidos blandos, y esto significa que debe haber algunos compuestos orgánicos formados por los elementos ordinarios que aparecen en estas sustancias (carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre) y, además, por átomos de fósforo.

Se había descubierto precisamente un compuesto de este tipo incluso antes de que Liebig hubiese elaborado su sistema de abonos. En 1845, el químico francés Nicolas Théodore Gobley (1811-1876) estaba estudiando la materia grasa de la yema del huevo. Obtuvo una sustancia cuyas moléculas hidrolizó (es decir, que descompuso mediante la adición de agua) y obtuvo ácidos grasos. Esto es lo normal con cualquier grasa digna de este nombre. Sin embargo, también obtuvo el «ácido glicerofosfórico», una molécula orgánica que contiene un átomo de fósforo. En 1850 llamó a la sustancia original «lecitina», de la palabra griega que designa la yema de huevo.

Gobley no pudo realizar un análisis químico exacto, pero hoy sabemos qué sustancia era. La molécula de lecitina está formada por 42 átomos de carbón, 84 átomos de hidrógeno, 9 átomos de oxígeno, un átomo de nitrógeno y un átomo de fósforo. En total sólo hay un átomo de fósforo por cada 137 átomos, pero fue suficiente para comprobar la existencia de fosfatos orgánicos.

Se han descubierto desde entonces otros compuestos semejantes, que se han denominado en conjunto «fosfoglicéridos».

En realidad, los fosfoglicéridos podrían considerarse también como constituyentes del esqueleto. Estas moléculas contribuyen a la formación de las membranas celulares y del material de aislamiento que rodea las células nerviosas. De hecho, la materia blanca del cerebro (blanca debido a la presencia de capas espesas de materia grasa aislante), que rodea las fibras nerviosas, es especialmente rica en fosfoglicéridos.

Cuando se descubrió este hecho se pensó que el fósforo tenía alguna relación con la función mental, e hizo su aparición la consigna «sin fósforo no hay pensamiento».

En cierto modo esto era cierto, porque si las fibras nerviosas no están bien aisladas, no funcionan, y no podríamos pensar. Sin embargo la relación es indirecta. Podríamos decir igualmente, puesto que los riñones son esenciales para la vida humana, que «sin riñones no hay pensamiento», lo cual es muy cierto, pero no significa que pensemos con nuestros riñones.

Se descubrió también que el pescado es razonablemente rico en fósforo, de donde nació el mito de que el pescado es «alimento para el cerebro». Esta idea, dentro de la mitología popular de los alimentos, sólo cede ante la idea (promovida por el bueno de Popeye) de que las espinacas son el medio para conseguir una fuerza instantánea y sobrehumana. Bertie Wooster, el joven simpático pero algo tonto creado por P. G. Wodehouse, aconsejaba siempre a su inteligente criado, Jeeves, que comiera unas cuantas sardinas cuando se planteaba algún problema especialmente urgente.

Cuando se descubrió la lecitina, se abrieron las compuertas. Se descubrieron otros fosfatos orgánicos. Se vio que los grupos fosfáticos intervenían en la formación de las proteínas de la leche, los huevos y la carne. Era evidente que el fósforo era esencial para la vida misma y no sólo para nuestra base esquelética.

Pero ¿qué función tienen el fósforo y todos los grupos fosfáticos? No es posible que estén totalmente inactivos. Tienen que hacer algo.

La primera indicación en este sentido se tuvo en 1904, cuando el bioquímico inglés Arthur Harden (1865-1904) estaba estudiando la levadura e intentando desentrañar las etapas químicas de la fermentación del azúcar en alcohol por obra de la levadura. La levadura consigue este resultado gracias a la presencia de enzimas, y en aquella época no se conocía nada de las enzimas, aparte de su nombre (en griego: «en la levadura») y de que provocaban cambios químicos.

Harden puso levadura molida, que contenía las enzimas, en un saco formado por una membrana con poros que permitían el paso de moléculas pequeñas, pero no de las grandes. Después de tener la bolsa en una vasija con agua el tiempo suficiente para que todas las moléculas pequeñas escaparan, descubrió que la materia que había quedado dentro de la membrana ya no podía fermentar el azúcar. Esto no significaba que la enzima fuera una molécula pequeña que había escapado por la membrana, puesto que tampoco el agua del exterior podía fermentar el azúcar. Sin embargo, si se mezclaba la materia de la vasija y la de la bolsa, las dos juntas podían fermentar de nuevo el azúcar.

Harden demostró de este modo que la enzima estaba formada por una molécula grande (enzima), que actuaba en cooperación con una molécula pequeña (coenzima). Harden descubrió que

la enzima pequeña contenía fósforo.

Esto significaba que el fósforo intervenía en los cambios moleculares que tenían lugar en los tejidos directamente afectados. Los fosfatos formaban parte de las coenzimas, que trabajaban con muchas enzimas, y esto no era todo.

Al principio, el extracto de levadura fermenta el azúcar con bastante rapidez, pero a medida que pasa el tiempo disminuye su nivel de actividad. Lo natural es suponer que la enzima se descompone con el tiempo. Sin embargo, en 1905 Harden demostró que esto era imposible. Si añadía fosfato inorgánico a la solución, la enzima volvía a actuar con tanta intensidad como antes y el fosfato inorgánico desaparecía.

¿Qué sucedía con el fosfato inorgánico? Tenía que unirse a algo. Harden lo investigó y descubrió que dos grupos de fosfatos se habían unido a un azúcar simple, la fructosa. La molécula resultante, «fructosa-1,6-difosfato», se llama a veces éster de Harden-Young, en honor de Harden y de su colaborador W. J. Young.

El éster de Harden-Young es un ejemplo de un «intermediario metabólico», un compuesto formado en el curso del metabolismo, en puntos situados entre el de partida (el azúcar) y el de llegada (el alcohol). También aquí, después de dar el primer paso, pronto siguieron otros y se descubrieron muchos más intermediarios metabólicos que contenían fósforo.

Pero ¿por qué tenían que ser importantes estos intermediarios metabólicos con fósforo? El bioquímico alemán-estadounidense Fritz Albert Lipmann (1899-1986) vislumbró la respuesta en 1941. Observó que la mayoría de fosfatos orgánicos, al hidrolizarse y desprender su grupo fosfático, liberaban una cierta cantidad de energía, aproximadamente la cantidad prevista.

En cambio, cuando se hidrolizaban unos cuantos ésteres fosfáticos, liberaban una cantidad de energía bastante mayor. Lipmann empezó a hablar entonces de un enlace fosfático de baja energía y de un enlace fosfático de alta energía.

El alimento contiene una gran cantidad de energía química, y cuando se descompone proporciona en conjunto más energía de la que el cuerpo puede absorber con facilidad. Existe el peligro de que la mayor parte de esa energía se pierda. Sin embargo, a medida que progresa la cadena metabólica, de vez en cuando se produce suficiente energía para cambiar un enlace fosfático de baja energía por otro de alta energía que contiene una cantidad adecuada de energía.

Es como si el alimento estuviera formado por billetes de cien dólares y que el cuerpo no pudiera encontrar cambio: la descomposición del alimento y la formación de enlaces fosfáticos de gran energía sería entonces como el cambio de los billetes de cien dólares por muchos billetes de cinco dólares, cada uno de los cuales podría negociarse con facilidad.

Los enlaces más corrientes y abundantes entre los enlaces fosfáticos de gran energía son los pertenecientes a una molécula llamada «trifosfato de adenosina» (adenosine triphosphate: ATP), y ésta es la molécula que se dedica a manejar la energía del cuerpo. Durante unos años se consideró al ATP como el compuesto de fósforo básico para la vida.

Sin embargo, ya en 1869, el químico suizo Johann Friedrich Miescher (1844-1895) aisló a partir del pus una sustancia orgánica que contenía fósforo. Informó sobre ello a su jefe, el bioquímico alemán Ernst Felix Immanuel Hoppe-Seyler (1825-1895), que tuvo dudas sobre el valor del descubrimiento. En aquella época la lecitina, descubierta veinticuatro años antes, era todavía la única sustancia orgánica conocida que contenía fósforo, y Hoppe-Seyler no tenía excesivo interés en exponerse al ridículo de que su laboratorio anunciara una segunda sustancia sin estar antes seguro de ello. (¡A esto se le llama ciencia responsable!) Al cabo de dos años aisló la sustancia a partir también de otras fuentes y llegó finalmente a la conclusión de que se trataba de un descubrimiento auténtico.

La sustancia recibió el nombre de «nucleína» porque los núcleos de las células parecían especialmente ricos en ella. Más tarde, cuando se estudió mejor su composición, se llamó «ácido nucleico».

Para resumir, a partir de 1944 los ácidos nucleicos empezaron asumiendo una posición esencial en las ideas de los bioquímicos, especialmente la variedad llamada «ácido

desoxirribonucleico» (ADN), que se considera actualmente como la clave de la vida y su componente fundamental. El ADN contiene los planos constructivos de las proteínas, y las proteínas (especialmente las que son enzimas) son las sustancias que controlan la actividad química de la célula y que determinan la diferencia entre usted y yo, y entre todos nosotros y un roble o una ameba.

Quizá sea un exceso de simplificación, pero creo que podríamos decir: «La vida es exclusivamente ácido nucleico, el resto son comentarios». (No puedo dejar de pensar en Coeurl, el monstruo felinoide de la gran narración de A. E. Van Vogt *El destructor negro*, que vivía en un planeta donde todo el fósforo se había convertido en una materia inaccesible, y que un día captó la presencia de fósforo en los huesos de los exploradores humanos que acababan de llegar en su nave espacial... Esta obra se publicó en 1939, mucho antes de que se conociera la importancia de los ácidos nucleicos).

Segunda Parte: El Sistema Solar

7. La Luna Y Nosotros

A veces puedo prever una pregunta y prepararme para responder.

Por ejemplo, hace unos días me encontré participando en un debate a gran distancia con otros tres autores de ciencia-ficción. Dos de ellos estaban en Sydney, Australia, preparándose para asistir a la Convención Mundial de ciencia-ficción, que se iba a celebrar allí. Un tercero estaba en Auckland, Nueva Zelanda, de camino a la misma convención. Y yo estaba en Nueva York, porque yo no viajo.

El tema del debate era la «guerra de las galaxias» de Reagan. Dos de los autores estaban a favor de ella y dos en contra. Yo era uno de los que estaba en contra.

Fui a un estudio en Nueva York y a las siete de la tarde empezaron a establecer la conexión trilateral entre Nueva York, Sydney y Auckland, con la ayuda de personal de Londres. Tardaron un rato.

En general me pongo nervioso pronto y empiezo a quejarme por estos retrasos, porque con cada minuto que pasa pienso cada vez más en que me están reteniendo lejos de mi máquina de escribir. Sin embargo, en esta ocasión conseguí mantener la calma —incluso me sentía divertido— porque ya preveía cuál iba a ser la primera pregunta.

Al final establecieron la conexión y, para mi satisfacción, me hicieron la primera pregunta a mí.

—Señor Asimov —dijo el presentador—, ¿cree usted que la guerra de las galaxias funcionará?

Contesté más o menos de la siguiente manera:

—La guerra de las galaxias necesitará ordenadores mucho más complejos que los actuales, unos cuantos aparatos más que todavía no hemos construido y algunos procesos que todavía no hemos elaborado. Cuando montemos finalmente el sistema, si llegamos a hacerlo, será el más complicado con que hayamos trabajado nunca y no habrá posibilidad de ponerlo a prueba en condiciones reales hasta que la Unión Soviética decida lanzar un ataque nuclear en masa. En aquel momento tendrá que funcionar por primera vez a partir de cero con una precisión y una eficiencia totales, de lo contrario la civilización quedará destruida.

»Por otro lado, tenemos la radio desde hace ochenta años, y satélites de comunicación desde hace veinticinco años, y cuando hemos necesitado establecer una conexión con estos sistemas, viejos y bien probados, hemos tardado treinta y cinco minutos de esfuerzos. ¿Cree usted sinceramente que la guerra de las galaxias va a funcionar, y está usted dispuesto a poner en peligro el mundo con ella?

Aunque no me gusta participar en debates, debo admitir que la situación me divirtió.

Sin embargo, hay momentos en los que no puedo prever las preguntas; el tema del presente ensayo tuvo su origen en una pregunta que me tomó totalmente por sorpresa. Sucedió así...

Escribo un editorial para cada número de Isaac Asimov's Science Fiction Magazine*, donde trato algún tema de interés para la ciencia-ficción.*

En el número de mayo de 1985 escribí un editorial titulado «Claro de luna», inspirado en las películas que había visto sobre hombres que se vuelven lobos o que se comportan de modo violento o aberrante al ver la luna llena. La idea es que la luz de la luna llena tiene algo que ejerce una influencia rara sobre el cuerpo humano. (Está claro que la Luna está «llena» sólo una vez al mes, pero en estas películas la luna llena aparece varios días, de acuerdo con el mismo principio

según el cual un pistolero en una película del Oeste dispara treinta y siete balas sin recargar su revólver). Sin embargo, se habla continuamente desde un punto de vista más «científico» de que los índices de asesinatos, suicidios y crímenes violentos en general aumentan con la luna llena, lo cual sugiere de nuevo que su luz tiene en esta época algo inquietante.

Así pues, en mi editorial especulé sobre la posibilidad de que hubiera realmente alguna explicación sobre cambios periódicos en el comportamiento humano relacionados con los cambios de las fases lunares.

Desde luego ninguna persona seria puede creer que la luz lunar en sí pueda afectar gravemente a los seres humanos. Al fin y al cabo se trata de simple luz solar reflejada y algo polarizada. Y aunque la luz de la Luna tuviera algún efecto, ¿por qué tendría este efecto la luna llena y no la del cuarto creciente o la del cuarto menguante, o incluso la luz de la Luna un día después de estar llena o un día antes? Supongo que nadie dirá seriamente que la luz lunar en la noche de luna llena es tan distinta de otras noches que puede convertir a una persona en lobo. Por mi parte, no veo de qué manera pueda esta luz influir de modo pronunciado en la conducta humana.

Alguien podría afirmar, claro está, que el efecto de la luz lunar es indirecto. En la noche de luna llena, la noche está mucho más iluminada que en otros momentos y esto estimula la actividad nocturna y por lo tanto la delincuencia nocturna. Pero consideremos lo siguiente:

1) La noche está bastante bien iluminada durante toda la semana de luna llena. No es mucho más brillante en la noche exacta de luna llena que en la noche anterior o posterior. ¿A qué viene, pues, tanta preocupación por la noche concreta de luna llena?

2) El cielo está a menudo nublado, y la noche puede ser muy oscura aunque sea la de luna llena. ¿Tienen lugar todos los hechos singulares que parecen relacionarse con la luna llena únicamente cuando las noches están despejadas? No he leído nunca nada parecido.

Pero alguien podría aducir que no he estudiado a fondo este «efecto lunar». Ese alguien asegurará que el nivel de delincuencia y de otros comportamientos peculiares sube y baja lentamente siguiendo los niveles de iluminación nocturna y que es más pronunciado cuando el cielo está despejado que cuando está nublado. Lo dudo, pero aceptémoslo para pasar al punto siguiente.

3) Las personas que se preocupan mucho por las fases de la Luna y que piensan que el nivel de iluminación nocturna es importante viven en el mundo de hace por lo menos un siglo. Ahora vivimos en la era de la iluminación artificial. Noche tras noche las ciudades estadounidenses son tan brillantes que los astrónomos ya no saben qué hacer para practicar su vocación en una oscuridad suficiente. ¿Qué persona corriente sabe cuáles son las fases de la Luna hoy en día o se preocupa por ello? La luz de la Luna, tanto si está llena, medio llena o si no se percibe, no cambia el nivel total de luz en cualquier lugar razonablemente habitado de nuestro mundo.

Alguien podría decir, sin embargo, que la influencia de la Luna es más sutil que la simple influencia de su luz. El efecto lunar podría depender de algo que no teme la competencia del alumbrado artificial, algo que atraviesa directamente cualquier nube y que alcanza su grado máximo con la luna llena.

Esto es pedir mucho, pero resulta que la Luna ejerce un efecto sobre la Tierra que es muy independiente de su luz, que no debe competir con nada terrestre y que desde luego atraviesa directamente las nubes o cualquier otra barrera imaginable. Sin embargo, no es una fuerza especialmente misteriosa, es la atracción gravitatoria de la Luna.

La Luna, gracias a su campo gravitatorio, ejerce un efecto de marea sobre la Tierra. La marea está en su mínimo cuando la Luna sale o se pone. Está en su máximo cuando la Luna está a mitad del camino entre su salida y su puesta, tanto si está cruzando el meridiano en lo alto del cielo como si está en su punto más bajo debajo de la Tierra, en el antimeridiano, al otro lado de la esfera celeste.

No sólo esto, sino que la marea es más alta de lo normal o más baja de lo normal según la cambiante posición relativa de la Luna y del Sol, puesto que la atracción gravitatoria del Sol también provoca mareas (aunque de menor intensidad que las de la Luna). Esto significa que las

mareas altas son más altas o más bajas según las fases cambiantes de la Luna, puesto que los efectos de marea dependen también de las posiciones relativas de la Luna y del Sol.

Durante la luna llena y la luna nueva, la Luna y el Sol tiran a lo largo de la misma línea y las mareas altas alcanzan entonces su mayor nivel, y las mareas bajas su nivel menor. Cuando la Luna está en el primer cuarto o en el tercer cuarto, la Luna y el Sol tiran formando ángulo recto entre sí y las mareas altas son entonces lo menos altas y las mareas bajas lo menos bajas.

Dicho con otras palabras, hay dos ciclos de marea. Uno es un ciclo simple de subida y bajada que se repite cada medio día. Otro es una subida y bajada más lenta de las mismas mareas altas y bajas, y este ciclo completa su período en un mes, aproximadamente.

La cuestión consiste, pues, en saber si alguno de estos ritmos de marea puede tener algún efecto sobre el comportamiento humano. En caso afirmativo, es evidente que el efecto no se impone de modo consciente. ¿Podemos anunciar cuándo estamos en marea alta o baja por el efecto que sentimos en nosotros?

Desde luego, podría ser que los ritmos de marea nos afectaran de un modo que no captamos ordinariamente.

Podría afectar el equilibrio hormonal de nuestra sangre y hacernos más propensos a tener pesadillas, o rabietas irracionales o depresiones profundas, coincidiendo con ciertas fases de la Luna.

Pero ¿cómo consigue este efecto el ritmo de las mareas?

Quizá sintamos la tentación de referirnos a fuerzas o influencias desconocidas, pero entonces nos moveremos en el mundo de la mística.

Alguien podría contestar a esto:

—¡Tonterías! Hubo una época, antes de 1801, en que no se conocía la existencia de la luz ultravioleta; sin embargo, uno podía coger una insolación incluso en el año veinticinco mil antes de Cristo.

Supongamos que un hombre de Cro-Magnon, en el año 25000 a. J.C., hubiese dicho:

—He sufrido una quemadura por culpa de un componente indetectable de la luz solar.

¿Sería esto misticismo o un ejemplo de extraordinaria intuición?

Bueno, antes de que votemos por la intuición, recordemos que el mismo hombre de Cro-Magnon hubiese podido decir igualmente:

—Deberían hacerme jefe de la tribu porque un componente indetectable de la luz solar me está llenando de un carisma especial y de un poder divino que vosotros no tenéis.

En otras palabras, cuando uno recurre a una fuerza desconocida y no detectada, puede atribuirle cualquier cosa, y será imposible comprobar si es cierta o falsa cualquier afirmación concreta sobre ella. Puesto que hay muchas más afirmaciones potencialmente falsas que ciertas (como por ejemplo 2 + 2, que tiene una respuesta correcta y un número infinito de respuestas equivocadas, aunque nos limitemos a los números enteros), es casi cierto que cualquier cosa que digamos sobre algo que desconocemos absolutamente estará equivocado.

Así pues, esconderse detrás de lo desconocido es casi seguro que nos llevará por mal camino, y no podemos actuar así y creer que continuamos jugando el juego de la ciencia:

Aunque alguien podría decir:

—No estamos hablando de una fuerza desconocida. Estamos hablando sobre efectos de marea. Las mareas hacen sentir sus efectos en el mar, que es una gran solución de agua salada. Los tejidos humanos están compuestos en su mayor parte de agua. Es natural que las mareas nos afecten del mismo modo que al mar, por lo que al hablar de la luna llena estamos hablando de una marea alta en el cuerpo humano.

Las mareas son igualmente altas con luna nueva, pero al parecer la gente prefiere referirse siempre a la luna llena.

De todos modos, dejemos esto de lado por un momento y señalemos otro extremo.

El efecto de la marea es experimentado por toda la Tierra. Hay mareas en la atmósfera y en las capas sólidas exteriores de la Tierra, además del océano. Lo que sucede es que las mareas oceánicas son más accesibles a una observación casual. Por lo tanto no podemos culpar de nada a la naturaleza acuosa de los tejidos humanos.

Ante eso, alguien podría agregar:

—Esto no importa. Si las mareas afectan a todo el cuerpo humano, mucho mejor.

Señalemos, pues, otro punto más importante.

El efecto de marea se debe a las variaciones de la atracción gravitatoria entre un lugar y otro. La intensidad de esta atracción varía según el cuadrado de la distancia del cuerpo que la ejerce. La cara de la Tierra que está más cerca de la Luna siente la atracción de modo más intenso que la cara de la Tierra alejada de la Luna. Al fin y al cabo la cara más alejada está 12756 kilómetros más lejos de la Luna que la cara próxima. La Tierra se estira a consecuencia de esta diferencia de atracción; esto causa pequeñas hinchazones a ambos lados, hacia la Luna y en dirección contraria a ella, y estas hinchazones son las mareas.

Si nos referimos a un cuerpo más pequeño que la Tierra, la diferencia de distancias a la Luna de la cara próxima y de la cara alejada será más pequeña y también el efecto de marea será más pequeño y proporcional al cuadrado de la diferencia de tamaños.

Un ser humano de pie debajo de la Luna cuando ésta está en lo alto del cielo, tendrá sus pies 1,80 metros más lejos de la Luna que su cabeza. Esto significa que la Tierra es unos siete millones de veces más gruesa que esta persona. Saquemos la raíz cuadrada y veremos que el efecto de marea de la Luna sobre una persona es equivalente a 1/50.000.000.000.000 (una cincuenta billonésima parte) del efecto sobre la Tierra.

¿Puede este efecto infradiminuto de marea producir diferencias perceptibles en el comportamiento de un ser humano?

Bueno, si estamos buscando algo, puedo reproducir lo que escribí en mi editorial:

...es cierto que los ciclos de la marea influyen sobre los seres que viven en la orilla del mar o cerca de ella. El flujo y reflujo de la marea debe estar íntimamente relacionada con el ritmo de sus vidas. Así, la época de la marea más alta puede ser el momento adecuado para poner los huevos, por ejemplo. Por lo tanto, el comportamiento de estos seres parece estar relacionado con las fases de la Luna. El hecho no es misterioso si consideramos la relación entre la Luna, la marea y el comportamiento. Sin embargo, si dejamos de lado el paso intermedio y consideramos solamente la relación entre la Luna y el comportamiento, convertimos una visión racional en una visión semi-mítica.

Pero ¿qué relación puede haber entre los gusanos y los peces que viven a la orilla del mar y los seres humanos?

Es seguro que hay una relación evolutiva. Podemos considerarnos ahora muy alejados de los seres afectados por las mareas, pero descendemos de organismos que hace cuatrocientos millones de años vivían probablemente en la superficie de contacto entre el mar y la tierra, y que estaban íntimamente afectados por los ritmos de las mareas.

Sí, pero esto sucedía hace cuatrocientos millones de años. ¿Podemos afirmar que los ritmos de las mareas de aquellas épocas continúan afectándonos hoy? No parece probable, pero es una posibilidad imaginable.

Al fin y al cabo... todavía tenemos unos cuantos huesos en el extremo inferior de nuestro espinazo que representan todo lo que conservamos de una cola que nuestros antepasados no poseen desde hace casi veinte millones de años. Tenemos un apéndice que es el resto de un órgano que no hemos utilizado desde hace más tiempo todavía...

¿No puede haber también restos vestigiales de propiedades bioquímicas o psicológicas ancestrales? En especial, ¿no podríamos conservar también algunos aspectos de los ritmos de las antiguas mareas...?

Elaboré de este modo un argumento sobre la posibilidad de que los ritmos de las mareas nos

afectaran como restos vestigiales de comportamientos que se remontarían a antepasados nuestros, para los cuales las mareas eran cuestión de vida o muerte. Sin embargo, esto sólo proporciona un esqueleto racional sobre el cual colgar el tema del «efecto lunar». Tenemos que llevar a cabo observaciones precisas y rápidas, por ejemplo sobre el aumento y descenso de la concentración de hormonas coincidiendo con las mareas, y demostrar de qué modo estos cambios pueden afectar el comportamiento. Sin esto, lo único de que disponemos es evidencia de carácter anecdótico, que probablemente no merece nuestra confianza.

En mi editorial pensé que había tratado el tema con minuciosidad cuidadosa y objetiva (como lo he hecho aquí, de modo todavía más cuidadoso y objetivo), pero luego recibí cartas de un cariz que no había esperado nunca, formulando una pregunta que me cogió totalmente por sorpresa.

¿Por qué motivo, preguntaban estas cartas, no había hecho mención de la relación evidente entre la Luna y la menstruación?

Debo decir, además, que el tono de estas cartas (escritas todas por mujeres) era personalmente horrorizante.

Todas parecían convencidas de que yo tuve motivos machistas para no tocar el tema; que había pensado que la menstruación era un fenómeno exclusivamente propio de las hembras y por lo tanto no lo había considerado digno de atención. Más de una carta me acusó de haber «olvidado» al cincuenta y uno por ciento de la raza humana.

¿Por qué no cité, pues, la menstruación? Simplemente porque no se me había ocurrido nunca que quien pensara sobre ella la relacionaría con la Luna.

Es cierto que el ciclo menstrual en las hembras humanas parece tener la misma longitud que el ciclo de las fases de la Luna. La correspondencia es tan clara que la misma palabra menstruación procede del latín «mensis», o «mes».

Pero ¿qué valor tiene esto? Llamamos indios a los nativos de América porque Colón pensó que había llegado a las Indias, pero el hecho de que los llamemos así no demuestra que los Estados Unidos formen parte de la India.

En relación con esto, recordemos que de todos los animales, sólo los primates menstrúan. El período menstrual varía considerablemente entre las distintas especies de primates, de modo que los seres humanos son una de las muy pocas especies que tienen un período menstrual con una longitud próxima al mes. Si queremos culpar de este período a la Luna, debemos explicar por qué la influencia lunar está tan finamente enfocada. ¿Por qué escoge la Luna a los seres humanos y excluye casi totalmente a las demás especies?

Además, cuando una especie concreta se ve afectada por algún ciclo, todos sus individuos reaccionan aproximadamente del mismo modo. Cuando un árbol de una especie determinada en una región concreta empieza a echar hojas en primavera, todos los demás hacen lo mismo aproximadamente al mismo tiempo. Cuando una golondrina regresa a Capistrano, lo mismo hacen todas las demás.

Deberíamos esperar, pues, que todas las mujeres al ser afectadas por las fases de la Luna, o bien a través de los ritmos de las mareas, o de algún otro modo, experimentaran el inicio de la menstruación en alguna fase lunar determinada. Sin embargo, esto no sucede. No hay ningún día del año en que un poco menos de un cuatro por ciento de las mujeres de edad y situación adecuadas no experimenten el inicio de la menstruación. La fase de la Luna no cuenta para nada.

He oído, desde luego, que si un grupo de mujeres se mantiene en estrecha proximidad, sus períodos tienden a coordinarse y a marchar al paso. Es de suponer que se afectan mutuamente. Quizá existe algún sutil olor de la menstruación que tiende a estimular su inicio. Pero incluso en este caso, si el hecho es cierto, nadie ha dicho que el inicio de la menstruación se produzca siempre en alguna fase determinada de la Luna. Al parecer, los inicios pueden alinearse con cualquier fase.

En tal caso podríamos decir que no son los detalles del período lo que tiene que ver con la Luna, sino que es simplemente la longitud del período lo que está relacionado con ella.

Es cierto que yo soy un hombre y que no dispongo de experiencia personal sobre el período menstrual, pero observo las cosas con un razonable interés y sé perfectamente que las mujeres

siempre se sienten sorprendidas cuando un período empieza un día o dos o tres antes de tiempo; y se alegran (o se asustan, según las circunstancias) porque se ha retrasado un día o dos o tres.

En definitiva, me temo que la longitud del período menstrual sea un fenómeno muy irregular en un universo donde el ciclo de las fases de la Luna es muy regular.

Me imagino a alguien diciendo: «No importan las irregularidades. La longitud media del período menstrual es de veintiocho días, y ésa es la longitud del ciclo de las fases de la Luna, y por lo tanto de los ritmos de las mareas». En fin, lo siento, pero ésa no es la longitud del ciclo de las fases de la Luna, y explicaré por qué.

La Luna gira alrededor de la Tierra (en relación a las estrellas) en 27,3216614 días o 27 días, 7 horas, 43 minutos y 11,5 segundos. Podemos hablar de 27 días y 1/3 sin equivocarnos demasiado. Esto se denomina el «mes sideral», de la palabra latina que significa «constelación» o estrella».

El mes sideral, sin embargo, sólo interesa a los astrónomos, porque no tiene nada que ver con las fases de la Luna, y los pueblos antiguos definían el mes mediante el ciclo de las fases lunares.

Las fases dependen de las posiciones relativas de la Luna y del Sol. Es el período de luna nueva a luna nueva cuando el Sol y la Luna están lo más cerca posible en el cielo, de modo que tanto la Luna como el Sol cruzan el meridiano al mediodía; o es el período de luna llena a luna llena cuando el Sol y la Luna ocupan posiciones directamente opuestas en el cielo, de modo que el Sol cruza el meridiano al mediodía mientras que la Luna lo hace a medianoche.

Para hallar este período tenemos que imaginar que la Luna comienza coincidiendo con el Sol y se mueve alrededor del firmamento hasta que vuelve a estar de nuevo con el Sol (de luna nueva a luna nueva). Pero, puesto que la Luna gira alrededor de la Tierra en 27 días y 1/3, ¿no volverá a estar junto al Sol una vez transcurrido este período? No, porque el Sol no estuvo parado. La Tierra gira alrededor del Sol en 365,2422 días, y a consecuencia de esto parece que el Sol se mueva por el cielo de Oeste a Este (en relación con las estrellas). Si la Luna comienza coincidiendo con el Sol, se mueve de Oeste a Este y regresa al mismo punto (en relación con las estrellas) al cabo de 27 días y 1/3, el Sol se habrá desplazado durante este intervalo un poco hacia el Este y la Luna necesitará algo más de tiempo para alcanzar al Sol y estar de nuevo en la luna nueva. Este tiempo de más resulta ser unos 2 días y 1/5, de modo que el período medio de luna nueva a luna nueva es de 29,5305882, o de 29 días, 12 horas, 44 minutos y 2,8 segundos. Podemos hablar de 29 días y 1/2 y no nos equivocaremos mucho.

El período de 29 días y 1/2 se llama «mes sinódico», de una palabra griega referente a una reunión religiosa, porque los sacerdotes solían decidir cuándo iba a tener lugar la luna nueva, para poder empezar así el nuevo mes en el momento apropiado y con el ritual propio.

Sin embargo, el período menstrual es de 28 días, mientras que el período de las fases de la Luna es de 29 días y 1/2. ¿No son bastante parecidos? Son casi iguales.

No, no son bastante parecidos. Si las fases de la Luna y los ritmos de las mareas tuvieran alguna relación con el ciclo menstrual, ambos ciclos deberían coincidir; pero no coinciden.

Supongamos que alguien con un período menstrual perfectamente regular, y con una constante longitud media de este período, experimenta el inicio de su período un día determinado en que la luna llena resplandece sobre la Tierra. Si el mito de la relación entre la Luna y el período menstrual tuviera algún significado, su siguiente período comenzaría con la siguiente luna llena, y el otro con la luna llena posterior, y así sucesivamente para siempre.

¡Pero no ocurre tal cosa! Una mujer con un período perfectamente regular de longitud media constante experimentará el comienzo de su siguiente período un día y medio antes de la luna llena, el siguiente tres días antes de la luna llena, y el siguiente cuatro días y medio antes de la luna llena.

Una mujer verá gradualmente que el inicio de sus períodos coincide con fases de la Luna ligeramente distintas y que recorre todo el ciclo de las fases lunares en algo menos de veinte ciclos menstruales; y ni siquiera entonces su vigésimo primer ciclo comenzará exactamente el día de la luna llena.

Cincuenta y nueve períodos menstruales sucesivos y perfectamente regulares ocuparán 1652 días (o un poco más de cuatro años y medio). Cincuenta y seis meses sinódicos se prolongarán

también a lo largo de 1652 días.

Éstos son los números mínimos de ambos ciclos que coinciden entre sí. Lo cual significa que si contamos a partir del comienzo de una primera menstruación coincidente con la noche de la luna llena, no volverán a coincidir la luna llena y el comienzo menstrual hasta pasados cuatro años y medio, al comenzar la menstruación número 59.

En definitiva, y por mucho que nos esforcemos, la Luna y la menstruación no tienen ninguna relación real.

¿Cómo se explica entonces que el período menstrual tenga una longitud tan parecida al mes sinódico, si la Luna no interviene en ello?

Bien, hay una explicación pero es muy poco espectacular, y mucha gente tal vez no se resigne a aceptarla. Se llama «coincidencia».

Me pregunto, ahora, si este enfoque ofenderá a alguna de las mujeres que lean este ensayo. ¿Hay algún motivo para que deseen que exista una relación entre los procesos corporales y la Luna?

Quizá sí. Quizá las haga sentirse importantes imaginar una relación con la Luna que los hombres no tienen.

Sin embargo es una relación inexistente, y en mi opinión las mujeres ya son de por sí tan maravillosas que no necesitan la ayuda de una ilusión supersticiosa.

8. El Planeta Inmencionable

En el decenio de 1950 escribí una serie de seis libros de aventuras para lectores jóvenes cuyo protagonista era un hombre joven llamado Lucky Starr. La acción de cada libro transcurría en un lugar distinto del sistema solar. Los escenarios eran, por este orden: Marte, los asteroides, Venus, Mercurio, Júpiter y Saturno. Un séptimo libro (que no escribí nunca) estaba situado en Plutón. Sin embargo, no creo que me planteara nunca la posibilidad de utilizar Urano como escenario.

Urano parece ser el planeta menos considerado de todos. Cualquier otro planeta tiene algo notable relacionado con él que lo convierte en un marco lógico para historias de ciencia-ficción. Mercurio es el más cercano al Sol, Venus el más cercano a la Tierra, Marte el más conocido, Júpiter es el mayor, Saturno tiene los anillos, Neptuno es el gigante más alejado, Plutón es el objeto planetario de cualquier tamaño más alejado que puede observarse a lo largo de toda su órbita.

Pero ¿y Urano? ¿Qué podemos decir de Urano? ¿Se lo deja de lado solamente porque no tiene nada de interés?

¡Desde luego que no! Creo que el hecho se debe en parte a los inconvenientes de un nombre poco afortunado; un nombre que por lo menos en inglés es casi inmencionable.

Me enteré de ello por la vía dura. En mis días jóvenes y alegres, yo sabía que Urano (más concretamente Uranos) era el dios griego del cielo. Sabía que la musa de la astronomía era por lo tanto Urania. Sabía también que existía un elemento que, cuando se descubrió, recibió el nombre de «uranio», como el planeta Urano recientemente descubierto.

Me parecía evidente, por lo tanto, que el nombre del planeta se pronunciara normalmente en inglés «Yu-ré-nus», y así era como yo lo pronunciaba. Estaba tan seguro de ello que nunca me preocupé de consultar el diccionario.

Además, en ningún momento tuve la iniciativa suficiente para ver que el nombre del planeta pronunciado de este modo sonaba igual que «tu ano» (your anus).

Sin embargo llegó el momento en que alguien pronunció el nombre con el acento en la primera sílaba. Yo, con mi habitual e insufrible aire de autoridad, le corregí inmediatamente, y en la discusión que siguió consultamos el diccionario y, para horror mío, perdí. El vencedor, insatisfecho con la simple victoria, me aplastó completamente informándome sobre el desagradable carácter de mi pronunciación.

Resulta, además, que si Urano se pronuncia en inglés «Yú-ri-nus» la cosa no mejora, porque entonces es palabra homónima de «urinoso», que significa que «tiene el aspecto, las propiedades o el olor de la orina».

El resultado es que las dos posibles pronunciaciones distintas del nombre del planeta son indigeribles en inglés y la gente acaba evitando mencionar el planeta. Conozco la solución, claro está. O bien puede adoptarse la versión griega del nombre Urano (pronunciada «U-ri-nus») o bien la palabra puede pronunciarse con una «a» corta («Yu-ránus»). Puesto que ambas propuestas son razonables, no es probable que se acepten nunca.

Sin embargo, a principios de 1986 Urano ocupaba un lugar destacado en las noticias y la gente tenía que pronunciar su nombre. Me aprovecho de ello, y ahora voy a ocuparme del planeta. Había hablado ya de él en ensayos anteriores de esta serie, pero todo lo anterior a enero de 1986 está

superado en lo que a Urano se refiere.

En 1977 se lanzaron al espacio dos sondas, el Voyager 1 y Voyager 2, y se enviaron hacia Júpiter y Saturno a fin de estudiar estos planetas gigantes. Pasaron delante de Júpiter en 1979 y delante de Saturno en 1980, y funcionaron bien. Después de esto, el Voyager 1 se separó del plano planetario y se puso a vagar indefinidamente a través del abismo del espacio.

No obstante, la trayectoria del Voyager 2 se redireccionó para que la sonda pasara cerca de dos planetas todavía más alejados: Urano y Neptuno. No sólo esto, sino que los aparatos de la nave se prepararon con una serie de inteligentes maniobras de modo que al llegar finalmente a Urano estuviera mejor equipado para estudiar el planeta de lo que hubiera estado después de su lanzamiento inicial en 1977.

Urano es bastante más pequeño que Júpiter o Saturno.

El diámetro de Urano es de 51.000 kilómetros, sólo unas tres séptimas partes del diámetro de Saturno y un tercio aproximadamente del de Júpiter. De todos modos es seis veces y media más grande que la Tierra, y por lo tanto continúa siendo un «gigante gaseoso». Para decirlo de otro modo, la masa de Urano es 1/13 de la masa de Saturno y 1/22 de la masa de Júpiter, pero es catorce veces y media superior a la de la Tierra.

La mayoría de planetas tienen ejes de rotación que forman ángulos más o menos rectos con sus planos orbitales de traslación alrededor del Sol. Dicho con otras palabras, si miramos hacia el planeta en el cielo, su eje de rotación está en posición más o menos vertical. Generalmente hay una pequeña inclinación. Venus y Júpiter tienen ejes que se desvían en tres grados de la vertical; la Tierra tiene una inclinación de 23,5 grados; Marte, una inclinación de 24 grados; Saturno, de casi 27 grados; Neptuno, de casi 29 grados. La inclinación axial de Mercurio es incierta, pero es algo inferior a 28 grados.

Es de suponer que si el sistema planetario se formó a partir de una gran nube de polvo y de gas que giraba formando remolinos y subremolinos, todos los ejes planetarios deberían ser exactamente perpendiculares al plano de la órbita alrededor del Sol.

Sin embargo los planetas se formaron por la agregación de objetos subplanetarios. Si estos objetos llegaron desde todas las direcciones indistintamente, sus ejes continuarían siendo perpendiculares. Es probable, no obstante, que la dirección de los últimos choques, los mayores, no se equilibraran uniformemente, de modo que los ejes quedaron algo desviados de la perpendicular en proporciones aleatorias.

En tal caso Urano debió de recibir uno o más golpes terribles cuando estaba formándose, y procedentes casualmente de la misma dirección, más o menos, porque su eje está inclinado formando un ángulo colosal de 98 grados, algo más de un ángulo recto.

Esto significa que Urano gira inclinado y de lado alrededor de su eje y que cuando observamos el planeta en el cielo vemos su eje extendiéndose de izquierda a derecha y no de arriba abajo.

Urano da una vuelta al Sol en 84 años, y debido a la inclinación de su eje, desde el hemisferio norte se ve el Sol que sube en espiral hacia el cenit para descender luego hasta el horizonte durante media revolución, mientras que en el hemisferio sur se ve lo mismo durante la otra mitad de su revolución.

Si estuviéramos situados en el polo norte de Urano (o en el polo sur), veríamos el Sol salir por algún punto del horizonte y subir luego lentamente por la bóveda celeste hasta que al cabo de unos veintiún años (!) lo tendríamos casi encima de nuestras cabezas. Luego descendería durante veintiún años más, poniéndose finalmente en el punto opuesto del horizonte, después de haber permanecido en el cielo durante cuarenta y dos años. Pasarían luego cuarenta y dos años más hasta que volviera a salir.

Una persona nacida en los polos de Urano sería un adulto de mediana edad cuando el Sol se pusiera y un anciano cuando se produjera la segunda salida del Sol.

En el momento actual, en los cielos de Urano el Sol está casi en el cenit sobre el polo sur del planeta. Dicho de otro modo, el polo sur está apuntando casi directamente hacia la Tierra y el Sol.

(Tiene que apuntar hacia ambos astros, porque desde Urano la Tierra nunca se separa del Sol más de tres grados).

Cuando finalizaba el año de 1985, el Voyager 2 se estaba aproximando a Urano y se estaba preparando para tomar sus fotografías y llevar a cabo sus mediciones. Había recorrido unos 10.500 millones de kilómetros para llegar hasta allí. (Urano está a sólo 2.750 millones de kilómetros de nosotros en línea recta, sin embargo, el Voyager 2 no volaba en línea recta sino que recorría arcos abiertos en respuesta a la atracción gravitatoria del Sol, de Júpiter y de Saturno, y al movimiento original de la Tierra en el momento del lanzamiento).

El Voyager 2, después de haber recorrido todo este camino, se encontró con un panorama bastante oscuro. La intensidad de la luz del Sol, tan distante en Urano, es 1/4 de la intensidad en Saturno, 1/13 de la intensidad en Júpiter y 1/368 de la intensidad en la Tierra. Delante de Saturno bastaba con exposiciones de quince segundos, pero en Urano se necesitaban exposiciones de casi cien segundos. Esto significa que había menos tiempo para hacer fotografías y más posibilidades de que quedaran borrosas.

El aspecto de Urano era azulado y casi sin rasgos. Esto no era totalmente nuevo. Cuanto más lejos del Sol está un planeta, menos calor recibe y menor es la diferencia de temperatura entre las distintas partes de la superficie planetaria. Es la diferencia de temperaturas lo que alimenta la circulación atmosférica y produce nubes visibles y tempestades.

A consecuencia de esta circulación, la atmósfera de Júpiter está llena de bandas y torturada, pero la de Saturno lo es menos y Urano está casi quieto.

Además, los distintos gases se van helando y separando de la atmósfera a medida que uno se aleja del Sol. La atmósfera de Júpiter es relativamente rica en amoníaco, más otros gases de puntos de ebullición relativamente elevados; estos gases contribuyen a formar las nubes y las formaciones de colores. En Saturno, el amoníaco ocupa un lugar más bajo en la atmósfera (donde la temperatura sube hasta un nivel que lo mantiene gaseoso) y en Urano está más bajo todavía.

Esto significa que en Urano, por ejemplo, el metano, que tiene un punto de ebullición especialmente bajo, es la impureza dominante en la atmósfera superior. El metano absorbe la luz roja y da a la atmósfera un tono azulado.

Además, el metano tiende a sufrir reacciones químicas en presencia de la luz solar, aunque ésta sea la débil luz que baña el distante planeta. Esto produce una neblina de hidrocarburos que nos impide penetrar con la mirada en la atmósfera planetaria. (Es el mismo tipo de niebla que existe en la atmósfera de la luna de Saturno, Titán, rica en metano).

Las reacciones químicas experimentadas por el metano pueden evidenciar la presencia de este gas mediante un cambio en el color de la atmósfera. En tal caso, el cambio sería más visible ahora en el polo sur, donde el débil Sol situado en el cenit entrega algo más de calor que en el resto del planeta; de hecho se ha comprobado un mínimo incremento del enrojecimiento en el polo sur.

Está claro que el metano es sólo un componente menor de la atmósfera uraniana. Los componentes principales (como en Júpiter, Saturno, y desde luego el Sol) son el hidrógeno y el helio, con el hidrógeno desempeñando una función dominante.

Estudios recientes en infrarrojo desde la superficie de la Tierra parecían indicar que la atmósfera de Urano podía estar formada hasta por un 40% de helio. Esto provocó un estremecimiento de desánimo entre la fraternidad astronómica, puesto que la cifra es excesivamente elevada.

El contenido en helio del universo en general es del 25%, mientras que el hidrógeno forma el restante 74% (y todo el resto ocupa menos del 1%).

El Sol, Júpiter y Saturno tienen proporciones de helio de un 25% o menos, y sería desde luego complicado explicar la acumulación de helio en Urano.

Podría argumentarse que al estar Urano lejos del Sol tuvo menos materia para formarse. Es decir, que se desarrolló más lentamente y fue más pequeño que Saturno (que a su vez es más pequeño que Júpiter). Puesto que Urano fue más pequeño que los dos gigantes gaseosos interiores en todas las etapas de su formación, tuvo un campo gravitatorio menos intenso y recogió menos

hidrógeno que Júpiter y Saturno. En cambio, pudo recoger de modo eficiente los átomos más pesados de helio, y de este modo, si no acabó acumulando más helio, sí por lo menos un porcentaje superior de él.

Lo malo de esta idea es que Urano es más frío que Júpiter o Saturno, y con esta temperatura inferior debería poder retener el hidrógeno fácilmente, a pesar de su menor tamaño.

El Voyager 2 eliminó el problema, con el consiguiente e infinito alivio de los astrónomos. Sus observaciones demostraron que la cantidad de helio contenida en la atmósfera de Urano era del 12 al 15%, exactamente la que debía ser.

Se observó un total de cuatro nubes a una profundidad bastante grande dentro de la atmósfera, y se estudiaron cuidadosamente para determinar el período de rotación del planeta.

Los astrónomos tenían la sensación general que cuanto más pequeño es el planeta, más largo debe ser el período de rotación. Así, por ejemplo, Júpiter, el planeta más grande, gira en 9,84 horas; Saturno, el siguiente en tamaño, en 10,23 horas, y la Tierra en 24 horas. Urano, situado entre Saturno y la Tierra por su tamaño, debería poseer también un período de rotación intermedio.

El período de rotación de Urano aceptado normalmente hasta hace poco era de 10,8 horas. Sin embargo, en 1977 una nueva medición dio un período de rotación que llegaba quizá hasta las 25 horas.

El problema era, evidentemente, que no existían en Urano accidentes claros que pudieran distinguirse desde la Tierra y cuyos desplazamientos pudieran seguirse. Sin embargo, el Voyager 2 presentó resultados que demostraban que Urano gira en su eje en 17,24 horas, lo cual es ciertamente una cifra aceptable.

Desde luego la atmósfera plantea algunos enigmas. La temperatura en la superficie visible de la atmósfera de Urano es casi la misma en todas partes. La débil radiación solar no parece que la afecte mucho. Sin embargo, hay una región situada entre unos treinta grados de latitud norte y latitud sur donde la temperatura parece descender algo. No se ha presentado todavía una explicación aceptable del hecho.

Además, se han captado vientos en la atmósfera que soplan a unos ciento sesenta kilómetros por hora en dirección de la rotación planetaria. Esto es intrigante, porque nuestros conocimientos sobre los movimientos atmosféricos nos hacen suponer que el viento debería soplar en dirección opuesta a la de la rotación planetaria. Sin embargo, Urano (al igual que Júpiter y Saturno) parece que emite más energía de la que recibe del Sol, por lo tanto debe de haber alguna fuente interna de calor, algún cambio físico o químico que pueda explicar el movimiento anómalo del viento.

Cuando el Voyager 2 se estaba acercando a Urano, pareció al principio que el planeta careciera de campo magnético. Esto fue una gran sorpresa porque se esperaba la existencia de un campo si un planeta tenía una rotación rápida y un interior eléctricamente conductor. Puesto que Júpiter y Saturno tienen campos magnéticos, parecía seguro que Urano también tendría uno. Si Urano carecía de él, se necesitaría alguna razón de peso que lo explicara.

Los astrónomos, por suerte, se ahorraron el problema.

El Voyager 2 se estaba acercando desde el lado del Sol y la observación del campo magnético estaba bloqueada por los electrones de la ionosfera de Urano. Cuando el Voyager 2 alcanzó un punto situado a 470.000 kilómetros del centro de Urano, entró en la magnetosfera planetaria. El campo magnético existía; era cincuenta veces más intenso que el de la Tierra y se extendía a gran distancia en la cara nocturna. Todo era como debía ser.

Bueno, casi todo. El eje magnético está generalmente inclinado en relación con el eje de rotación y el eje magnético no pasa necesariamente por el centro gravitatorio del planeta. (No se ha descubierto todavía una explicación satisfactoria de este hecho). Sin embargo, la situación en el caso de Urano es exagerada. El eje magnético está inclinado no menos de 60 grados con respecto del eje de rotación, y el centro del eje magnético está a 8.000 kilómetros del centro del planeta.

Ignoramos a qué se debe este extraordinario desplazamiento, pero quizá tiene alguna relación con la inclinación, igualmente extraordinaria, del eje de rotación.

El Voyager 2 pasó entre los anillos del planeta y su satélite más interior (según se observa desde la Tierra): Miranda. A las cinco de la tarde del 24 de enero de 1986 pasó por el punto de máxima aproximación a Miranda, alcanzando una distancia de 28.000 kilómetros de la superficie del satélite. Transcurrida menos de una hora, pasó por el punto más cercano a Urano, alcanzando una distancia de 81.500 kilómetros de la capa de nubes de Urano. Pasó por estos puntos próximos a pocos segundos del horario previsto y a sólo dieciséis kilómetros de la trayectoria fijada. La precisión fue extraordinaria.

Estudios realizados desde la superficie terrestre permitieron descubrir en 1977 nueve delgados anillos alrededor de Urano. Este resultado se consiguió estudiando Urano cuando pasaba muy cerca de una estrella y observando el parpadeo de la estrella cuando los anillos pasaban delante de ésta.

El Voyager 2 demostró que los nueve anillos existían realmente y descubrió un décimo anillo entre el octavo y el noveno, contando desde Urano. El nuevo anillo es muy delgado y débil y no hubiese sido posible observarlo desde la Tierra.

Los anillos de Urano, tal como se había comprobado incluso en observaciones desde la Tierra, están compuestos de partículas oscuras. Esto quizá no sea de extrañar.

Los cuerpos menores del sistema solar exterior tienden a ser helados, y el hielo (normalmente es hielo de agua, pero tiene quizá componentes menores de amoníaco y metano) está mezclado con materiales rocosos de distintos tamaños.

Estos objetos helados pueden sufrir dos procesos que los oscurezcan. En primer lugar, pueden perder lentamente el hielo por evaporación sin perder al mismo tiempo sus materiales rocosos. A lo largo de las eras, después de miles de millones de años, los objetos pequeños tienden a tener menos hielo y a quedar recubiertos por una corteza de material rocoso que es más oscuro que el hielo y que impide que éste continúe evaporándose. En segundo lugar, el metano en el hielo puede polimerizarse lentamente y convertirse en sustancias negras y alquitranadas que contribuirán a oscurecer más la superficie.

En el capítulo 10, que escribí mucho antes de que una sonda espacial llamada Giotto pasara cerca del cometa Halley, mencionaré la posible formación de una corteza así en los cometas. Cuando Giotto efectuó su pase demostró que el cometa Halley tenía un color muy negro. (Sin embargo el cometa continuaba proyectando chorros de hielo evaporado, porque en esta región del sistema solar interior recibía un calor más intenso que el de las cercanías de Urano). Por lo tanto el problema no es que los anillos de Urano sean oscuros, sino que los anillos de Saturno sean blancos. Al parecer los cuerpos pequeños situados cerca de Saturno (si se exceptúa el satélite Japeto, que parece tener un hemisferio oscurecido) tienen más hielo que los situados cerca de Júpiter o de Urano, y algún día habrá que explicar la diferencia.

Resulta también que mientras los anillos de Saturno están compuestos de partículas de todos los tamaños, desde polvo fino hasta casi montañas, los anillos de Urano están compuestos por objetos cuyo tamaño es comparable de modo relativamente uniforme al de una roca. Los anillos de Urano carecen prácticamente de polvo. Ésta es una nueva e inexplicada diferencia entre Saturno y Urano, y me temo que el planeta raro a este respecto será Saturno.

Urano tiene un sistema de satélites que presenta varias peculiaridades. Desde la Tierra se descubrieron cinco satélites, y ninguno de ellos es un satélite gigante de tres mil kilómetros de diámetro o más. Urano es el único gigante gaseoso sin un satélite gigante. Neptuno tiene Tritón, Saturno tiene Titán, y Júpiter tiene Io, Europa, Ganímedes y Calisto. Incluso la Tierra tiene la Luna. Ignoramos por qué le falta a Urano un satélite gigante. ¿Tiene esto algo que ver con la extraordinaria inclinación del eje de Urano?

Por cierto que los cinco satélites están tan inclinados como Urano y giran en el plano ecuatorial del planeta. Eso significa que si bien los demás satélites planetarios se van moviendo aproximadamente a la izquierda, a la derecha, a la izquierda, a la derecha, cuando los miramos en el cielo, los satélites de Urano se van moviendo arriba, abajo, arriba, abajo.

Esto puede significar que los satélites se formaron después de haberse inclinado el eje de Urano. Si Urano hubiese tenido un eje poco inclinado con sus satélites instalados en el plano

ecuatorial original, la inclinación de Urano hubiese dejado a los satélites moviéndose en órbitas muy inclinadas. La inclinación del eje debió de haber tenido lugar en un momento muy temprano en la historia del sistema solar y los satélites se formaron después.

Los satélites son más oscuros de lo que podía esperarse. Desde la Tierra sólo pueden verse como puntos de luz, y los astrónomos dedujeron su tamaño por su distancia, suponiendo que podían reflejar la luz con bastante eficacia, ya que se los suponía formados de hielo. Luego resultaron más oscuros, por lo que deben reflejar menos luz y deben ser de mayor tamaño para explicar el brillo observado. Reproduzco una lista de los diámetros de los cinco satélites como se suponían antes del Voyager 2 y como sabemos ahora que son:

Satélite	*Diámetro (Km) Antes del Voyager 2*	*Diámetro (Km) Después del Voyager 2*
Miranda	240	480
Ariel	700	1170
Umbriel	500	1190
Titania	1000	1590
Oberón	900	1550

Observemos que el diámetro de Miranda ha aumentando 2 veces; el de Ariel, 1,7 veces; el de Umbriel, 2,4 veces; el de Titania, 1,6 veces, y el de Oberón, 1,7 veces. Como es natural, los satélites se descubrieron en orden decreciente de tamaño. Miranda, el más pequeño de los cinco (y el más interior), no se descubrió hasta 1948.

Sin embargo, el día 31 de diciembre de 1985, el Voyager 2, que se aproximaba al planeta, descubrió un sexto satélite más próximo a Urano que Miranda. Miranda está a 130.000 kilómetros del centro del planeta, mientras que el nuevo satélite está a sólo 85.000 kilómetros de él. El nuevo satélite tiene sólo 160 kilómetros de diámetro. Su nombre provisional es 1985Ul.

En enero de 1986 se descubrieron no menos de nueve satélites más, todos más próximos a Urano que 1985Ul.

Los tres primeros descubiertos, 1986Ul, 1986U2 y 1986U3, tienen unos ochenta kilómetros de diámetro, el resto entre veinte y cincuenta kilómetros. El satélite más interior conocido es ahora 1986U7, que está a sólo 50.000 kilómetros de Urano, dentro ya del sistema de anillos.

Estos pequeños satélites plantean un par de problemas.

El estudio de Júpiter y de Saturno con sondas introdujo la noción de «satélites pastores», pequeños satélites que giran en la parte exterior e interior de un anillo determinado y que mediante su influencia gravitatoria impiden que los anillos se esparzan y se disipen. Al parecer, la mayoría de los anillos de Urano no tienen satélites de este tipo. ¿Cómo pueden entonces conservar su existencia?

Además, vemos que tanto Júpiter como Saturno y Urano tienen pequeños satélites que giran cerca del sistema de anillos, dentro o fuera de él. Es probable que Neptuno también los tenga. Mercurio y Venus no tienen ningún satélite, y la Tierra tiene una Luna grande y distante, pero ningún satélite pequeño y cercano. ¿Es la ausencia de estos satélites pequeños y cercanos lo que impide que estos mundos conserven anillos? Marte tiene dos pequeños satélites próximos, pero no tiene anillo. ¿Fueron capturados los satélites marcianos después de haberse disipado los anillos? Tendremos que aprender muchas más cosas sobre la formación de los anillos, si podemos.

El Voyager 2 examinó los cinco satélites relativamente grandes de Urano. Oberón tiene una superficie con cráteres, con rayos brillantes que parten de ellos. Esto es bastante corriente. Sin

embargo, los fondos de los cráteres son oscuros, y esto ya es menos normal.

Titania tiene no sólo cráteres, sino también valles de dislocación. Dejemos de lado de momento a Umbriel y pasemos a Ariel, que tiene valles de dislocación todavía mayores y cañones. Este satélite, el más próximo a Urano, es, al parecer, el de superficie más torturada.

Miranda, visto de cerca, nos deparó una gran sorpresa. Su superficie supertorturada tiene un poco de todo.

Tiene cañones como Marte, surcos como Ganímedes, terrenos hundidos como Mercurio. Tiene además una serie de líneas oscuras, como un montón de tortas vistas de canto, un juego de surcos bien marcados como los de una pista de carreras, y un galón en forma de uve.

Parece muy confuso que un cuerpo tan pequeño tenga una variedad tal de rasgos superficiales. Es demasiado pequeño para que sea geológicamente activo. Las ideas actuales apuntan en el sentido de que estuvo a punto de morir. Quizá algún cuerpo grande chocó con Miranda y lo redujo a pedazos. (El satélite de tamaño regular más interior de Saturno tiene un cráter tan grande que el impacto estuvo a punto de fragmentarlo). Una vez despedazado, Miranda debió reconstituirse de nuevo por la acción de su propia gravedad, pero no de modo ordenado. Los fragmentos se reunieron desde todas las direcciones y ahora el satélite presenta en su superficie el caos observable.

Sin embargo, en mi opinión el misterio real es Umbriel.

Es el más oscuro de los satélites. También parece que carezca de rasgos, con la excepción de un anillo brillante, como un «donut» que brilla cerca del borde del hemisferio iluminado.

¿Por qué es Umbriel más oscuro que el resto? ¿Por qué carece de rasgos? ¿Qué da origen al «donut» blanco? Por desgracia pasarán probablemente muchos años antes de que podamos echar otro vistazo (quizá de más precisión) a Umbriel, y hasta entonces sólo podemos estudiar las fotografías que tenemos... y especular.

Pero yo creo que lo más interesante de Umbriel es una coincidencia peculiar y sin duda absurda.

En 1787, el astrónomo germano-inglés William Herschel (1738-1822), que había descubierto Urano seis años antes, descubrió sus dos satélites más brillantes. En vez de nombrarlos según personajes mitológicos grecorromanos, los llamó «Oberón» y «Titania», el rey y la reina de las hadas de la obra de William Shakespeare *El sueño de una noche de verano*.

Cuando el astrónomo inglés William Lassell (1799-1880) descubrió los satélites tercero y cuarto de Urano, en orden de brillo, en 1851, llamó al más brillante de los dos «Ariel», el nombre del espíritu feliz y despreocupado de *La tempestad* de Shakespeare. (Se supuso de modo natural que Ariel, el más brillante, era también mayor que el otro, pero ahora sabemos que el otro es en realidad de mayor tamaño, pero más oscuro, por lo que refleja menos luz). Lassell llamó al otro satélite, más oscuro, «Umbriel», un personaje de *El rapto del rizo*, un poema épico burlesco escrito por el poeta inglés Alexander Pope (1688-1744).

Umbriel era un espíritu taciturno, lleno de suspiros y de melancolía. El nombre «Umbriel» viene de la palabra latina que significa «sombra».

Cuando el astrónomo holandés-estadounidense Gerard Peter Kuiper (1905-1973) descubrió el quinto satélite de Urano, abrió de nuevo *La tempestad* y llamó al objeto acabado de descubrir «Miranda», la encantadora heroína de la obra.

Pero ¿no es extraño que el satélite oscuro y sombrío, Umbriel, recibiera el nombre de un espíritu triste que permanece sentado melancólicamente entre las sombras?

¿Tiene esto algún significado más profundo?

¡No! En absoluto. Es una simple coincidencia.

9. El Planeta Increíblemente Encogido

Hace unas semanas recibí una llamada telefónica de una joven comunicándome que estaba componiendo algo así como un artículo para alguna revista. (Supongo que no era una escritora, puesto que su tarea consistía en llamar a varias celebridades y hacerles una pregunta. Luego tenía que reunir todas las respuestas y llevar a imprimir el resultado. No se necesita mucha capacidad literaria para hacer esto). Yo repliqué, cautelosamente:

—¿Cuál es la pregunta?

—Bueno —dijo ella con vivacidad—. ¿Cuál es su bar favorito y por qué lo es? ¿Por la calidad de las bebidas, por su ambiente, por su inaccesibilidad, por la gente que encuentra allí, o por qué motivo?

—¿Mi bar preferido? —dije, atónito—. ¿Se refiere a un bar donde la gente va a beber?

—Sí, de todos los bares que usted ha frecuentado...

—Pero si yo no voy a ninguno, señorita. No bebo. No he bebido nunca. Supongo que no he entrado nunca en ningún bar, excepto de paso para ir a la sala del restaurante.

Hubo una pausa, y luego mi interlocutora dijo:

—¿No es usted Isaac Asimov, el escritor?

—Sí, lo soy.

—¿Y no es usted la persona que ha escrito casi trescientos cincuenta libros?

—Sí, lo soy; pero todos ellos los he escrito perfectamente sobrio.

—¿De veras? Pues yo pensaba que todos los escritores bebían.

Creo que dijo eso con un exceso de cortesía. En mi opinión intentaba decir que en realidad para ella todos los escritores eran unos alcohólicos.

Yo le aclaré, supongo que con cierta brusquedad:

—No puedo hablar por nadie más, pero yo desde luego no bebo.

—Vaya, qué raro... —murmuró ella, y colgó el teléfono.

Creo, francamente, que le fue bastante bien a mi interlocutora experimentar algo raro. Todos nosotros deberíamos someternos a emociones así en bien de nuestra salud mental, y debo decir que los científicos tienen la suerte de estar experimentando continuamente esta sensación. Pongamos, por ejemplo, el caso del planeta Plutón...

Durante el primer tercio de este siglo se había montado una búsqueda del «planeta X», un planeta con una órbita situada más allá de Neptuno. Los astrónomos que lo buscaban esperaban encontrar un gigante gaseoso, es decir, un planeta mayor que la Tierra, pero con una densidad baja por estar formado principalmente de hidrógeno, helio, neón y los «hielos» que contienen hidrógeno, a saber: agua, amoníaco y metano. Al fin y al cabo los cuatro planetas más exteriores, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, eran todos gigantes gaseosos. ¿No podía serlo también el planeta situado más allá de Neptuno?

Como es natural, los astrónomos esperaban que el planeta X sería más pequeño que los gigantes gaseosos, porque estaría situado más lejos del Sol. Cuanto más lejos, más enrarecida y tenue habría sido la nebulosa preplanetaria, y más pequeño el planeta formado a partir de ella.

Incluso así, se esperaba que el planeta X sería bastante mayor que la Tierra.

Al fin y al cabo, la masa de Júpiter, el gigante gaseoso de mayor tamaño y el más cercano al Sol, es 318 veces la de la Tierra. Saturno, el siguiente en alejamiento, tiene una masa 95 veces superior a la de la Tierra. Más allá de estos dos gigantes están Urano y Neptuno, que tienen masas 15 y 17 veces superiores a la de la Tierra, respectivamente.

El astrónomo estadounidense Percival Lowell (1855-1916), el más entregado de los buscadores, dedujo que el planeta X continuaría la tendencia descendente y tendría una masa sólo 6,6 veces superior a la de la Tierra. De todos modos, nadie se habría sorprendido si su masa resultara diez veces superior a la terrestre.

Además, no era preciso razonar la masa totalmente por analogía. Había un argumento más fuerte. El motivo de que se sospechara la existencia de un planeta X eran las ligeras anomalías de la órbita de Urano. Esto significaba que los astrónomos estaban buscando un planeta de suficiente masa para influir de modo medible sobre la órbita de Urano, aunque el candidato tuviera que estar situado dos o tres mil millones de kilómetros más allá de Urano.

Que la masa del planeta X resultara diez veces superior a la terrestre no hubiese sido una cifra excesiva para tal cometido.

El planeta X fue descubierto finalmente en 1930 por el astrónomo estadounidense Clyde Tombaugh, quien lo llamó Plutón, en parte porque las dos primeras letras eran las iniciales de Percival Lowell. Se descubrió bastante cerca del lugar donde debía estar si realmente ejercía una influencia sobre la órbita de Urano, y ésta fue una razón más para considerar que era un gigante gaseoso.

Sin embargo, en el mismo momento del descubrimiento se produjo una sorpresa desagradable, la primera de toda una serie de sorpresas que Plutón nos depararía durante el medio siglo siguiente.

Recordemos que Neptuno es un objeto de octava magnitud. Por lo tanto su brillo es tan bajo que no puede verse a simple vista, cosa lógica puesto que Neptuno está a 4.500 millones de kilómetros del Sol y la reflexión de la escasa luz solar que recibe debe recorrer de nuevo toda esta distancia para llegar hasta nosotros.

Si se tiene en cuenta la mayor distancia y el tamaño probablemente menor de Plutón, el nuevo planeta debería ser bastante menos brillante que Neptuno. Los astrónomos esperaban que Plutón tuviera una magnitud quizá de diez.

Pero no fue así. Plutón tenía la magnitud catorce. Era casi cuarenta veces menos brillante de lo que se esperaba.

Había tres razones posibles para ello: 1) Plutón estaba considerablemente más lejos de lo esperado; 2) Plutón estaba constituido por materiales bastante más oscuros de lo esperado, y 3) Plutón era bastante más pequeño de lo esperado. También podía darse una combinación cualquiera de estas tres posibilidades.

La distancia pudo determinarse con bastante facilidad.

A partir del cambio diario de la posición aparente de Plutón, pudo obtenerse con bastante rapidez una estimación aproximada del tiempo que necesitaría para dar una vuelta al Sol. Y a partir de este período orbital pudo calcularse inmediatamente la distancia media al Sol.

Resultó que Plutón necesita 247,7 años para recorrer su órbita, y que su distancia media al Sol es de 5.900 millones de kilómetros, aproximadamente. En promedio está una vez y un tercio más lejos del Sol que Neptuno.

Es evidente que esto convierte a Plutón en el más distante de los planetas conocidos, pero no lo sitúa a una distancia tal que su poco brillo pueda explicarse únicamente por la distancia. Se deduce que Plutón debe estar formado por materiales más oscuros que los cuatro gigantes gaseosos, o que es bastante más pequeño, o ambas cosas.

En cualquier caso, Plutón no es un gigante gaseoso. En primer lugar un gigante gaseoso (o cualquier planeta con una atmósfera lo bastante densa para producir nubes pesadas) refleja casi una mitad de la luz solar que recibe.

Su «albedo», en otras palabras, es aproximadamente 0,5.

Lo mismo puede decirse de un planeta, aunque carezca de atmósfera, si tiene una superficie de hielo (una superficie formada por agua, amoníaco o metano helados o por una combinación de ellos). Un planeta sin atmósfera y formado por roca desnuda tendría un albedo aproximado de 0,07.

Una idea muy extendida para explicar el poco brillo de Plutón fue suponer que podía estar compuesto por material rocoso y que podía carecer de atmósfera. Incluso en este caso su masa no podía ser mucho mayor que la de la Tierra, si su brillo era tan bajo.

De este modo los astrónomos empezaron muy pronto a dividir los nueve planetas mayores del sistema solar en cuatro gigantes gaseosos, o «planetas jovianos», y cinco mundos rocosos, o «planetas terrestres». Los planetas terrestres eran Mercurio, Venus, la Tierra, Marte y Plutón.

Era imposible explicar lo que estaba haciendo en el borde exterior del sistema planetario un planeta terrestre, mientras todos los demás estaban a tocar del Sol, pero era preciso clasificar a Plutón en este grupo para explicar su poco brillo.

De todos modos, aunque Plutón se hubiese encogido espectacularmente en el momento de su descubrimiento, podía ser todavía el quinto objeto más grande del sistema solar, después de los cuatro gigantes gaseosos, si era algo mayor que la Tierra.

Pero ¿es el tamaño de Plutón parecido al de la Tierra?

En cierto modo Plutón soporta el estigma de ser un planeta relativamente muy pequeño. De todos modos, el estudio de la órbita de un planeta permite hacerse una cierta idea de su tamaño.

Las órbitas de los planetas no son, en general, muy elípticas. Las excentricidades de la mayoría de los planetas valen 0,05 o menos. Por ejemplo, la excentricidad de la órbita de la Tierra es 0,017. Esto significa que sin ayuda especial las órbitas planetarias parecen simplemente circulares.

Las excepciones son los dos planetas más pequeños.

Marte, cuya masa es sólo una décima parte de la de la Tierra, tiene una excentricidad de casi 0,1. Mercurio, cuya masa es sólo una vigésima parte de la masa de la Tierra (la mitad de la de Marte), tiene una excentricidad de 0,2.

Si vamos a relacionar una masa baja con una excentricidad elevada, ¿qué podemos deducir de Plutón? Su movimiento por el cielo se estudió durante períodos cada vez más largos, y de este modo pudieron calcularse las características de su órbita, con lo que se descubrió que su excentricidad era de 0,25, superior a la de Mercurio y, de hecho, la más alta de cualquiera de los nueve planetas.

¿Significa esto que Plutón tiene todavía menos masa que Mercurio? No necesariamente. No hay motivos inescapables que relacionen una masa baja con una excentricidad elevada. Así, por ejemplo, Neptuno tiene algo más de una vigésima parte de la masa de Júpiter, y sin embargo la excentricidad de Neptuno no es mayor que la de Júpiter, sino considerablemente inferior: de hecho es sólo una quinta parte de la de Júpiter. Por lo tanto, la elevada excentricidad de Plutón podría no constituir por sí misma un argumento suficiente para considerarlo un planeta pequeño, aunque el hecho dé bastante que pensar.

Por otra parte, la elevada excentricidad de la órbita de Plutón significa que su distancia del Sol varía enormemente en el transcurso de su trayectoria alrededor de este cuerpo. En su posición más próxima (perihelio), Plutón está a 4.425 millones de kilómetros del Sol. En el otro extremo de su órbita, donde llega al cabo de un siglo y cuarto después del perihelio y donde está lo más lejos posible (afelio), Plutón está a 7.375 millones de kilómetros del Sol. La diferencia entre estos dos extremos es de 2.950 millones de kilómetros.

Un equipo de exploración instalado en Plutón no notaría gran cosa. El Sol no sería más que una estrella muy brillante en el cielo de Plutón, y si fuera algo más oscuro en el afelio que en el perihelio es probable que nadie se fijara o que le importara, aparte del astrónomo de la expedición.

La excentricidad orbital sitúa a Plutón en ocasiones algo más cerca del Sol de lo que puede llegar Neptuno. En su perihelio, Neptuno está a 4.458 millones de kilómetros del Sol, mientras que Plutón en su perihelio llega 33 millones de kilómetros más cerca del Sol.

Resulta que, en 1979, Plutón, que se acercaba a su perihelio, se aproximó más al Sol que

Neptuno en su perihelio y dejó de ser durante un tiempo el planeta más lejano.

Plutón, en cada una de sus vueltas alrededor del Sol, se mantiene más cercano a él que Neptuno durante un intervalo de veinte años. En la ocasión actual, Plutón alcanzará su perihelio en 1989 y volverá a alejarse más que Neptuno en 1999. Este curioso fenómeno no se repetirá hasta los años 2227 a 2247.

Otro aspecto de una órbita planetaria es su «inclinación» en relación con el plano de la órbita terrestre. En general, la inclinación de los planetas es pequeña. Dan la vuelta al Sol en trayectorias tan cercanas al mismo plano que si construimos una representación tridimensional del sistema planetario tan pequeña que incluya Neptuno todos los planetas cabrían cómodamente en estas cajas donde se guardan las pizzas.

También en esto el planeta más pequeño se sale de lo corriente. Mientras que las inclinaciones suelen ser de tres grados o menos, la de Mercurio es de siete grados. Si una inclinación orbital elevada supone una masa pequeña, ¿qué pensaremos de la órbita de Plutón, que tiene una inclinación de unos diecisiete grados? De todos modos, Urano, que tiene bastante menos masa que Saturno, también tiene una inclinación menor que la de Saturno. Vemos, pues, que no existe una relación necesaria entre inclinación y masa.

Por lo tanto, la elevada inclinación de Plutón puede no ser significativa, pero de nuevo nos da que pensar.

La elevada inclinación de Plutón significa que si bien cruza la órbita de Neptuno en un diagrama bidimensional del sistema planetario, no hay posibilidad de que se produzca una colisión entre los dos planetas en un futuro previsible. Desde el punto de vista tridimensional, la elevada inclinación de Plutón lo lleva por debajo de la órbita de Neptuno, de modo que los dos planetas no están nunca separados por menos de 1.300 millones de kilómetros en el momento en que sus órbitas parece que se crucen. De hecho, en algunos momentos, Plutón puede estar incluso más cerca de Urano de lo que puede estar nunca de Neptuno.

El poco brillo de Plutón, que nos lo muestra más pequeño de lo que se esperaba originalmente, nos dice también algo más, porque su luz reflejada no es constante.

Si Plutón fuera un planeta rocoso, podría ser que porciones diferentes de su superficie reflejaran la luz con eficacia distinta. Podría haber rocas más claras en un lugar que en otro, o bien algunas rocas podrían estar cubiertas de escarcha y otras no. En conjunto habría una variación general con un período igual al de rotación.

En 1954, el astrónomo canadiense Robert H. Hardie y su colaborador Merle Walker midieron el brillo con mucha precisión y Hardie decidió que Plutón gira una vez cada 6,4 días. (La mejor cifra actual es de 6 días, 9 horas y 18 minutos, o sea, 6,39 días). También esto plantea dudas sobre el tamaño de Plutón. Parece ser, en general, que cuanto mayor es un planeta, más rápido gira sobre su eje. Júpiter, el planeta de mayor masa, gira en 9 horas y 50 minutos, mientras que Saturno, el segundo por su masa, gira en 10 horas y 14 minutos, y Urano, el gigante gaseoso de menor masa, gira en 17 horas y 15 minutos.

Los planetas terrestres, más pequeños que los gaseosos gigantes, tienen períodos de rotación más largos. El de la Tierra es de 24 horas, y la esfera más pequeña de Marte gira en 24 horas y 37 minutos. Mercurio y Venus giran realmente con mucha lentitud, pero esto se debe en parte al efecto de marea del Sol.

Sin embargo, Plutón, que no puede experimentar ninguna influencia perceptible de marea de un Sol muy distante, tiene un período de rotación de más de seis días, lo que parece propio de un planeta muy pequeño. También esto puede ser una coincidencia, pero tenemos ya tres características –la excentricidad orbital, la inclinación orbital y el período de rotación–, todas las cuales parecen caracterizar a Plutón como un planeta muy pequeño. ¿Hasta dónde puede llegar la coincidencia?

Lo que necesitamos es una medición directa del diámetro de Plutón, pero ¿cómo llevarla a cabo? Plutón está a tan enorme distancia, y su diámetro es tan pequeño, que aparece como un simple punto de luz incluso con un buen telescopio, aunque en el momento de su descubrimiento se encontrara bastante cerca del perihelio. (Si hubiese estado cerca del afelio, y su diámetro aparente

hubiese sido sólo tres quintas partes del del perihelio, el descubrimiento habría sido bastante más difícil). Sin embargo, en el año 1950 el astrónomo holandés-estadounidense Gerard Peter Kuiper (1905-1973) se enfrentó con la tarea, utilizando el telescopio de cinco metros de Monte Palomar, recién construido. Apuntó el telescopio hacia Plutón e intentó estimar la anchura del punto de luz.

No era fácil porque el globo diminuto de Plutón parpadea un poco, y cuando el telescopio amplía su tamaño también amplía el parpadeo. Lo mejor que pudo hacer Kuiper fue estimar que su tamaño era 0,23 segundos de arco. (En comparación, el globo de Neptuno no baja nunca de 2,2 segundos de arco. Por lo tanto, el diámetro aparente de Plutón es una décima parte aproximadamente del de Neptuno). Un diámetro aparente de 0,23 segundos de arco significaría, teniendo en cuenta la distancia de Plutón, que su diámetro valdría aproximadamente 6.100 kilómetros. Sería pues un planeta increíblemente encogido, bastante más pequeño que la Tierra. De hecho, Plutón sería incluso algo más pequeño que Marte, que tiene un diámetro de 6.790 kilómetros. Plutón, en vez de ser el quinto cuerpo planetario por su tamaño, sería el octavo, y sólo tendría detrás a Mercurio, el más pequeño de todos.

No todo el mundo aceptó las cifras de Kuiper. El método para determinar el diámetro de Plutón consistente en mirarlo a través de un telescopio era demasiado incierto.

Sin embargo, hay otro sistema.

De vez en cuando, a medida que Plutón se desplaza lentamente por el cielo, pasa cerca de un estrella poco brillante. Si el planeta pasa directamente por encima de ella (una "ocultación"), la estrella parpadeará un momento. El tiempo varia según que la estrella pase detrás de Plutón cerca de un extremo de su esfera o por el centro de ella. Si podemos conseguir la posición exacta de la estrella y del centro de la esfera de Plutón, y si pude determinarse la distancia mínima entre los dos y medirse el tiempo de desaparición de la estrella, puede obtenerse con bastante precisión el diámetro de Plutón.

Puede suceder, desde luego, que Plutón roce apenas la estrella. En tal caso si se mide la distancia entre el centro de Plutón y la estrella, puede estimarse el diámetro máximo de Plutón, el diámetro que permitiría que la estrella pasara rozando.

El 28 de abril de 1965 Plutón se estaba desplazando hacia una estrella poco brillante de la constelación de Leo. Si Plutón hubiera sido tan grande como la Tierra, o incluso tan grande como Marte, habría ocultado la estrella pero falló. A partir de este hecho pudo calcularse que el diámetro de Plutón no podría ser mayor de 5.790 kilómetros y que podía ser bastante menor.

Parecía, pues, que nuestro planeta increíblemente encogido no podía estar más que a medio camino, en cuanto a tamaño, de Marte y Mercurio. Su masa no podía ser superior a una dieciseisava parte de la masa de la Tierra, y podía ser menor a esto.

El problema se resolvió finalmente, y de modo totalmente inesperado, en junio de 1978. El astrónomo James Christie, que trabajaba en Washington D.C., estaba estudiando unas fotografías excelentes de Plutón tomadas con un telescopio de 1,55 metro de Arizona, a una gran altitud, donde la interferencia de la atmósfera es muy reducida.

Christie estudió las fotografías con gran aumento y le pareció observar una protuberancia en Plutón. ¿Era posible que el telescopio se hubiese movido ligeramente mientras se tomaba la fotografía? No, porque en tal caso todas las estrellas del campo de visión habrían aparecido como cortas líneas y, por el contrario, todas eran puntos perfectos.

Christie miró las demás fotográficas con gran aumento y todas tenían la misma protuberancia. Christie vio, además, que esta protuberancia no estaba en el mismo lugar al pasar de una fotografía a otra. Christie, muy emocionado, busco las fotografías más antiguas de Plutón, algunas de ocho años antes y comprobó que la protuberancia giraba alrededor de Plutón en un periodo de 6,4 días, el periodo rotacional del planeta.

O bien había una enorme montaña en Plutón, o bien Plutón tenia un satélite próximo. Christie estaba seguro de que se trataba de un satélite, lo que demostró definitivamente en 1980 cuando un astrónomo francés, Antoine Labeyrie, que trabajaba en la cima del Mauna Kea, en Hawai, utilizó la técnica de la interferometría de puntos. Esta técnica mostró Plutón como una trama grande de

puntos, pero dos de estas tramas, una grande y una pequeña, no tenían ninguna conexión. Era evidente que Plutón tenía un satélite.

Christie llamó al satélite Caronte, el nombre del barquero que en lo mitos griegos conducía las sombras de los muertos a la otra orilla de la laguna Estigia, al reino subterráneo de Plutón. (Yo habría escogido para el satélite el nombre de Perséfone, la esposa del Plutón, pero Christie estaba, al parecer, influido por el hecho de que su esposa se llamaba Charlene).

En 1980, Plutón pasó cerca de otra estrella, Plutón no la ocultó (por lo menos visto desde la Tierra), pero Caronte pasó enfrente de ella y esta ocultación fue observada desde un observatorio de Sudáfrica por un astrónomo llamado A. R. Walter. La estrella se apagó durante cincuenta segundos, lo cual dio para Caronte un diámetro mínimo de 1.170 kilómetros.

Sin embargo, había ahora un sistema mejor para determinar tamaños. Cuando se tiene un satélite, se sabe su distancia al planeta alrededor del cual gira, y el tiempo que necesita para dar una revolución, y puede calcularse la masa del planeta más la del satélite. A partir de las masas relativas del planeta y del satélite, y suponiendo que ambos tengan la misma composición química, puede deducirse la masa de cada uno.

Resultó que Caronte estaba a 19.400 kilómetros de Plutón. Esto es sólo una vigésima parte de la distancia de la Luna a La Tierra, y no es de extrañar que estando Plutón a tanta distancia de nosotros, su satélite, tan próximo a él, pasara inadvertido durante casi medio siglo.

Se calculó que la masa de Plutón era 0,0021 veces (1/500) de la Tierra, con lo que el planeta increíblemente encogido resultó tener menos masa que Mercurio. De hecho, su masa es solamente algo superior a una sexta parte de la masa de nuestra Luna. En definitiva, todos los criterios que parecían indicar que Plutón era un planeta muy pequeño eran acertados.

En cuanto a Caronte, su masa era una décima parte de la de Plutón.

Puesto que ya sabemos lo pequeño que es Plutón, ya no podemos imaginarlo formado de roca. Dado su tamaño, no reflejaría suficiente luz con su roca desnuda para ser tan brillante como es. Tiene que ser un cuerpo helado, con lo cual su densidad será menor y su tamaño mayor, y podrá reflejar una proporción mayor de la luz solar que cae sobre él.

Se calcula actualmente que Plutón tiene unos 3.000 kilómetros de diámetro, lo que es 7/8 del diámetro de nuestra Luna, mientras que Caronte tiene aproximadamente 1200 kilómetros de diámetro, más o menos la estimación obtenida con la ocultación de 1980.

Esto significa que, además de los ocho planetas, hay también siete satélites (la Luna, Io, Europa, Ganímedes, Calisto, Titán y Tritón) que tienen más masa que Plutón.

Plutón no es ni el quinto objeto planetario de más masa del sistema solar, ni el octavo, sino que ha quedado relegado al lugar dieciséis.

Algunos astrónomos habían intentado antes negar el aparente pequeño tamaño de Plutón con la intención de que continuara siendo un cuerpo de gran masa y gravitatoriamente importante. Propusieron para ello que Plutón tenía una superficie lisa y helada y que el punto de luz que veíamos no era Plutón en sí sino la pequeña reflexión del Sol sobre una superficie pulida. Otros admitían el pequeño tamaño pero querían conservar una masa elevada suponiéndole una densidad enorme.

Sin embargo, ahora ya no son posibles más trucos. Se sabe que Plutón es diminuto y su densidad se ha podido calcular a partir de su volumen y de su masa. La densidad ha resultado baja, inferior a lo que todos habían esperado (una sorpresa más). Plutón es sólo unas 0,55 veces más denso que el agua, menos denso incluso que Saturno, que con 0,7 veces la densidad del agua había sido hasta ahora el objeto planetario conocido de menor densidad.

Plutón es tan pequeño que no puede estar compuesto por los gases hidrógeno, helio y neón, y por lo tanto debe estar compuesto por hielos. El más ligero de los hielos corrientes es el metano congelado (una combinación de átomos de carbono y de hidrógeno), cuya densidad es casi la mitad de la del agua. Podría ser, pues, que Plutón estuviera compuesto principalmente por metano congelado, y en tal caso podría tener una atmósfera enrarecida y superfría de vapor de metano. A pesar de la distancia de Plutón al Sol, parte del metano se evaporaría; el vapor sería tan frío que no

podría escapar, a pesar de la pequeña gravedad superficial de Plutón.

Consideremos ahora que la masa de Ganímedes, el mayor satélite de Júpiter, es 0,1 milésimas de la masa de su planeta. La masa de Titán, el mayor satélite de Saturno, es 0,15 milésimas de la masa de su planeta. La masa de Tritón, el mayor satélite de Neptuno, es 1,3 milésimas de la masa de su planeta. Sin embargo, la masa de nuestra Luna, el satélite de la Tierra, es 12,3 milésimas de la masa de nuestro planeta.

Para decirlo de otro modo, la Luna tiene 1,23 % de la masa de la Tierra, y ningún otro satélite tenía hasta 1978 una proporción de masa que se le pareciera. La Tierra y la Luna eran lo más parecido que conocíamos a un planeta doble.

Luego apareció Caronte, que es cien milésimas (una décima parte) de la masa de Plutón. Comparado con Plutón, Caronte tiene ocho veces el tamaño de la Luna comparada con la Tierra. La combinación Plutón-Caronte ha ganado, pues, nuestro título anterior de «planeta doble».

Una última cosa: Plutón y Caronte pueden despreciarse desde el punto de vista gravitatorio. No pueden ejercer ningún efecto medible sobre la órbita de Urano. Sin embargo, las anomalías de la órbita de Urano, y probablemente también las de Neptuno, continúan vigentes.

¿Qué las causa? El planeta X. Este planeta puede estar todavía más lejos, en algún lugar, y debiera de ser un gigante gaseoso, como se supuso de entrada. El descubrimiento accidental del minúsculo Plutón no ha hecho más que desviar nuestra atención de esta búsqueda, y deberíamos continuarla.

Adición

Esta es mi colección número veinticuatro de ensayos publicados en The Magazine of Fantasy and Science Fiction y no saben ustedes lo contento que estoy por: a) haber sobrevivido para componer tantos números, b) que la revista haya tolerado tanto tiempo mi columna, y c) que el amable personal de Doubleday haya hecho lo mismo.

Sin embargo, también hay dificultades. Cuando escribo un ensayo sobre un tema determinado, tengo un especial interés por los nuevos descubrimientos realizados sobre el mismo tema. Me molesta que mis artículos queden anticuados o que se haga algo con el tema que no me guste, o... bueno, me molesta casi todo. Y a medida que escribo más ensayos, cada vez tengo más motivos para molestarme y la vida resulta algo incómoda.

Así, en esta colección incluyo un ensayo, el capítulo 9, que llamo «El planeta increíblemente encogido». Explica el descubrimiento de Plutón y los resultados cada vez más pequeños de la medición de su diámetro. Al principio se creía confiadamente que Plutón sería un planeta más grande que la Tierra, pero esto resultó falso, cada vez más falso. Después de muchas investigaciones se sabe ahora que Plutón es más pequeño que la Luna.

En mi ensayo doy finalmente para el diámetro de Plutón la cifra de 2.960 kilómetros. Escribí este ensayo en el otoño de 1986 y un estudio que leí en la primavera de 1987 redujo esta cifra todavía más, hasta 2.560 kilómetros. Si la última cifra es correcta, Plutón tiene un diámetro equivalente a sólo dos tercios del de la Luna. Además, puesto que Plutón está compuesto por materiales ligeros, de hielo, en lugar de material pesado y rocoso como la Luna, la masa de Plutón puede ser sólo una sexta parte de la masa de la Luna.

Ahora, un grupo de astrónomos, molestos quizá porque Plutón no consigue ofrecer un tamaño respetable, quieren rebajarlo de categoría. Dicen que Plutón ya no debería llamarse planeta, sino que debería ponerse en la lista de los asteroides.

Puesto que yo he tratado el tema, creo que tengo derecho a expresar también mi opinión, y opino que la propuesta es ridícula.

Hay tres tipos de cuerpos en el sistema solar que pueden clasificarse con absoluta precisión:

1) El Sol, que es el único objeto en el sistema solar de tamaño suficiente para experimentar la ignición nuclear en su centro, y que por lo tanto emite una intensa radiación visible y es una estrella.

2) Los planetas, que no emiten radiación intensa y que se desplazan en órbitas alrededor del

Sol.

3) Los satélites, que no emiten radiación intensa y que se desplazan en órbitas alrededor de un planeta.

No es posible confundirlos entre sí. Nada nos impulsa a considerar al Sol un planeta, por grande que sea, y no tenemos dificultad en distinguir entre un planeta y un satélite.

Sin embargo, el grupo de los planetas es muy variado, como pudieron comprobar los astrónomos en el primer decenio del siglo XIX, cuando se descubrieron cuatro planetas, bastante más pequeños que todos los demás girando alrededor del Sol en órbitas situadas entre la de Marte y la de Júpiter. El mayor de estos cuerpos (y lo continúa siendo a pesar del descubrimiento de miles de objetos parecidos) es Ceres, y su diámetro es de sólo 1024 kilómetros, que puede compararse con los 4.821 kilómetros de Mercurio, el planeta más pequeño conocido en aquel entonces. Ceres probablemente no tiene más que 1/200 de la masa de Mercurio.

El astrónomo William Herschel propuso llamar a estos pequeños planetas «asteroides» (de la palabra griega que significa «parecido a una estrella») porque a través del telescopio parecían simples puntos de luz, como estrellas, en lugar de ensancharse y formar círculos visibles de luz, como en el caso de los planetas mayores.

Así pues, la mejor manera de definir un asteroide es considerarlo un pequeño planeta que gira alrededor del Sol en una órbita situada entre la de Marte y la de Júpiter. Pienso de nuevo que la denominación «asteroide» no sirve de nada.

Si queremos diferenciar los planetas por su tamaño deberíamos hablar de «planetas mayores» y «planetas menores».

Además, los objetos muy pequeños, como los «meteoritos» y las partículas de polvo, cuyos diámetros varían desde varios metros hasta pequeñas fracciones de centímetro, deberían llamarse «microplanetas». Creo incluso que los cometas deberían llamarse «planetas cometarios».

Bien, en tal caso, si los científicos aceptaran esta propuesta eminentemente inteligente y clasificaran todos los objetos que giran alrededor del Sol según una subdivisión u otra de «planeta», ¿cómo deberíamos denominar a Plutón: un planeta mayor o un planeta menor?

Para empezar, Mercurio, de acuerdo con una vieja costumbre que se remonta a miles de años, ha sido considerado un planeta, y nadie propone ni siquiera hoy que sea otra cosa distinta de un planeta mayor, a pesar de que podría considerarse el menor de todos. Digamos, pues, que cualquier objeto que tiene por lo menos las dimensiones y la masa de Mercurio es un planeta mayor.

Hay tres satélites que son aproximadamente tan grandes como Mercurio, o incluso algo mayores que él. Son Ganímedes, Calisto y Titán. Sin embargo, este hecho no induce a confusión. Ganímedes y Calisto giran alrededor de Júpiter, mientras que Titán lo hace alrededor de Saturno, de modo que a pesar de su tamaño se consideran universalmente como satélites y no como planetas. Además, estos satélites grandes están compuestos de materiales relativamente ligeros, helados, e incluso el mayor de todos, Ganímedes, tiene sólo la mitad de la masa de Mercurio. Hasta aquí todo va bien.

Si omitimos Plutón, el mayor cuerpo asteroidal continúa siendo Ceres. Ceres es considerablemente mayor que cualquier otro asteroide, tanto dentro como fuera del cinturón de asteroides. También es considerablemente mayor que cualquier cometa conocido. Sería bastante justo decir que un planeta menor (o asteroide) es un objeto que se mueve en una órbita alrededor del Sol y cuyo tamaño y masa son iguales o inferiores a los de Ceres.

Esto deja un hueco considerable entre Ceres y Mercurio. Mercurio tiene casi cinco veces el diámetro de Ceres y quizá doscientas veces su masa. Plutón cabe holgadamente en este hueco. Si aceptamos que el diámetro de Plutón es de mil kilómetros, será 2,5 veces el diámetro de Ceres, mientras que el diámetro de Mercurio es casi el doble del de Plutón. Por lo tanto Plutón está aproximadamente a mitad de camino entre los dos. En cuanto a la masa, Plutón puede tener dieciséis veces más masa que Ceres, pero Mercurio tiene quizá dieciséis veces la masa de Plutón. De nuevo Plutón está en medio de los dos.

Pero, en tal caso, ¿calificaremos a Plutón de planeta mayor o de planeta menor? Quizá si

Plutón fuera consciente preferiría ser el mayor con mucho de los planetas menores, que el menor con mucho de los planetas mayores. (Al parecer Julio César afirmó: «Preferiría ser el primero en un pueblecito español que el segundo en Roma»). Sin embargo, mi propuesta es que todo planeta, desde Mercurio hacia arriba, se llame planeta mayor; que todo planeta desde Ceres hacia abajo se llame planeta menor; y que todo planeta situado entre Mercurio y Ceres se llame «mesoplaneta» (de una palabra griega que significa «intermedio»). De momento, Plutón es el único mesoplaneta conocido.

¿No les parece acertado?

10. Los Objetos Menores

Estaba yo almorzando con un director literario en una fiesta de mi barrio el mes pasado, cuando el gerente se nos acercó diciendo que sentía interrumpirnos pero que un caballero deseaba ser presentado. Suspiré, miré con cierto nerviosismo a mi compañero (tengo siempre el temor de que puedan sospechar que organizo las coincidencias para darme importancia), y dije:

—Bueno, tráigalo aquí.

Se presentó un hombre de estatura mediana, más bien delgado, con ojos oscuros, una prominente nuez en la garganta, una camisa con el cuello abierto, y con barba de un día. No me levanté, porque uno de los pocos privilegios del paso de los años es poder quedarse sentado en una situación en que una persona más joven se sentiría obligada a levantarse. Al fin y al cabo, a medida que las articulaciones de las rodillas maduran, todo el mundo puede entender la prudencia que supone no cargarlas con trabajos innecesarios.

Apliqué una sonrisa agradable a mi rostro y dije «Hola» al recién llegado, quien replicó con seriedad:

—Doctor Asimov, mi nombre es Murray Abraham y quiero decirle que su libro sobre Shakespeare...

Sólo pudo decir esto, porque entonces yo me puse en pie, y además lo hice con una energía explosiva.

Le dije con absoluto convencimiento:

—Usted no es Murray Abraham. ¡Usted es Antonio Salieri!

Después de esto la conversación degeneró en un simple caos. Yo no quería que él me hablara de mis libros.

Quería hablar de su actuación en la película Amadeus, y puesto que yo era el de más edad, supongo que al final él pensó que estaba obligado por cortesía a ceder a mis deseos. Nunca supe qué quería contarme de mi libro sobre Shakespeare.

Como ven, así fue. Yo voy al cine en pocas ocasiones, principalmente porque estoy demasiado ocupado con mi máquina de escribir o con mi procesador de textos. (Los sorprendería saber el poco tiempo que a uno le queda cuando se es un escritor prolífico). Sin embargo aproveché la ocasión para ver Amadeus.

Presencié con admiración cómo F. Murray Abraham (a quien no había visto antes) interpretaba el difícil papel de un Salieri villano y patético a la vez. A media película me volví hacia mi querida esposa, Janet, y le dije:

—Este chico, Abraham, ganará un premio de la Academia por este papel.

No había visto otras interpretaciones de la competencia, pero estaba seguro de que ningún papel cinematográfico de aquel año podía llegar a la altura del de Abraham.

Puedo descubrir la perfección cuando la veo.

Por esto me emocioné tanto cuando le tuve delante y por esto le cambié el nombre. Ahora y siempre puede continuar siendo F. Murray Abraham para él, pero para mí será Antonio Salieri.

Y mientras meditaba sobre la dificultad de distinguir entre un actor y su papel, una cadena de pensamientos me condujo al tema de distinguir entre un cometa y un asteroide. Y ahí está.

Si queremos distinguir entre las dos grandes clases de cuerpos menores del sistema solar, es mejor que empecemos definiendo cada una de ellas.

Los asteroides son un enjambre de cuerpos pequeños que giran alrededor del Sol entre la órbita de Marte y la de Júpiter. Algunos son bastante grandes, y uno de ellos, Ceres, tiene unos mil kilómetros de diámetro. Hay varias docenas de asteroides con diámetros de más de 100 kilómetros, pero la gran mayoría de los cien mil asteroides que quizá pueden existir son objetos pequeños, de sólo unos kilómetros de diámetro.

Se supone que hay un segundo enjambre de objetos menores que giran alrededor del Sol a una distancia mucho mayor. Mientras los asteroides orbitan alrededor del Sol a distancias de unos cuatrocientos millones de kilómetros, el segundo enjambre puede estar situado hasta a uno o dos años luz, y por lo tanto está a una distancia del Sol treinta y cinco mil veces superior a la de los asteroides. Llamemos a los cuerpos de este lejano enjambre «cometoides».

(Este término es un invento mío y los astrónomos no lo utilizan, según creo). Como es natural, ningún astrónomo ha estudiado nunca, ni siquiera ha visto, ninguno de los cometoides que gira alrededor del Sol en esta lejana región. Los cometoides son tan distantes y tan pequeños que no pueden detectarse de ningún modo. Su existencia puede deducirse únicamente por la existencia de los cometas, y a partir de un estudio profundo de la órbita, la estructura y el comportamiento de los cometas. Por esto llamo a los cuerpos del hipotético y lejano enjambre cometoides, derivándolo de «cometa».

Los cometoides y los asteroides son cuerpos relativamente pequeños y sólidos que están en órbita alrededor del Sol, pero los primeros no sólo están mucho más lejos del centro del sistema solar, sino que se supone también que son mucho más numerosos. Algunas estimaciones que he visto calculan que puede haber hasta cien mil millones de cometoides, es decir, un millón de cometoides por cada asteroide.

Sin embargo, las diferencias de distancia y número son triviales. Si éstas fueran las únicas diferencias existentes, un cometoide y un asteroide puestos uno al lado del otro no podrían distinguirse.

Sin embargo, hay una diferencia importante en la estructura química que depende directamente de las diferentes distancias.

Tanto los cometoides como los asteroides se formaron probablemente cuando el sistema solar estaba naciendo.

Además, se formaron a partir de la misma gran nube de polvo y de gas a partir de la cual se formaron el Sol y los planetas. Los astrónomos están bastante seguros de que esta nube estaba constituida principalmente por hidrógeno y helio, con mezcla de otros átomos como carbono, nitrógeno, oxígeno, neón, argón, silicio y hierro.

El hidrógeno, el helio, el nitrógeno, el oxígeno, el neón y el argón son gases que no se solidifican fácilmente, ni siquiera a grandes distancias del Sol. Sin embargo, el hidrógeno se combina con el oxígeno formando agua, con el nitrógeno formando amoníaco y con el carbono formando metano. Todas estas sustancias se congelan dando sólidos que por su aspecto se parecen al hielo corriente (es decir, al agua congelada), de modo que se agrupan en la categoría de «hielos».

Los restantes elementos, que todos juntos constituyen menos de una mitad del uno por ciento del total, se unen formando sustancias metálicas y rocosas.

El astrónomo estadounidense Fred Lawrence Whipple (1906), partiendo de estas y de otras consideraciones, propuso en 1950 la idea de que los cometoides eran «bolas de nieve sucias»; grandes masas de hielo (principalmente hielo de agua) con partículas rocosas y metálicas distribuidas en forma de polvo y algún trozo ocasional de mayor tamaño. Es incluso imaginable que algunos cometoides tengan un núcleo de roca y metal sólidos.

Algunos cálculos permiten suponer que las dos terceras partes de la masa de un cometoide son hielo y una tercera parte roca y metal.

Sin embargo, los cometoides son bolas de nieve sucias únicamente porque se formaron lejos de un Sol que estaba naciendo al mismo tiempo que los cometoides se estaban formando. El joven

Sol enviaba calor en todas direcciones y además tenía un intenso viento solar. El calor evaporó las sustancias más fácilmente vaporizables y el viento solar se llevó estos vapores hacia fuera y lejos de allí. Objetos grandes, como Júpiter y Saturno, pudieron conservar los vapores producidos gracias a su enorme campo gravitatorio, pero todos los cuerpos menores, como los cometoides, fueron incapaces de ello. No pudieron conservar el hidrógeno, el helio y el neón que se mantenían en estado gaseoso gracias al calor, por débil que fuera, del distante Sol. Sin embargo, pudieron conservar las sustancias que se solidificaron formando hielos a las bajas temperaturas de las fronteras lejanas del espacio.

No obstante, cuando los cuerpos menores se formaron, por ejemplo, en el cinturón de asteroides, los resultados fueron diferentes.

Los asteroides, que se formaban relativamente cerca del Sol, recibieron suficiente calor del Sol para convertir finalmente en vapor los hielos formados. De hecho, el calor fue tal que no hubiese podido formarse de entrada el hielo.

Todo este vapor fue arrastrado por el viento solar y empujado hacia los límites lejanos del sistema solar, donde pudo contribuir a la formación de los cometoides.

Por lo tanto, los asteroides están formados casi totalmente por restos rocosos y metálicos. Esta escasez de materiales constructivos explica el menor número de asteroides respecto al de los cometoides, y en general su pequeño tamaño.

Así pues, para establecer una distinción que no sea trivial, los asteroides están formados por roca o metal, o por una mezcla de ambos materiales. Los cometoides están constituidos principalmente por hielos, siendo las rocas y los metales impurezas menores.

Un astrónomo que observe un cuerpo pequeño a distancia telescópica podría clasificarlo como cometoide o asteroide según la manera de reflejar la luz. Un cometoide helado reflejará un porcentaje mucho mayor de la luz que recibe que un asteroide rocoso o metálico.

Además, y debido a esta diferencia de composición química, los cometoides experimentan algo que nunca sucede a los asteroides.

Los cometoides distantes sufren de vez en cuando una perturbación en su majestuosa órbita de un millón de años alrededor del Sol. Puede producirse en ocasiones una colisión entre dos cometoides que transmita energía de uno a otro, frenando el primero y acelerando el segundo. O bien las atracciones gravitatorias de estrellas próximas podrían disminuir o aumentar la velocidad de un cometoide, según fuera la posición de estas estrellas.

Un cometoide que gana energía y velocidad se aleja más del Sol y puede acabar dejando el Sol para siempre y seguir una trayectoria prácticamente infinita a través del espacio interestelar. Un cometoide que pierde energía y velocidad se desplazará a lugares más próximos al Sol y quizá pueda penetrar en las regiones habitadas por los grandes planetas.

El efecto gravitatorio de los planetas exteriores sobre un cometoide que se pasee por sus cercanías puede obligar al cometoide a seguir una órbita radicalmente nueva, una órbita que le lleve a las cercanías del Sol en uno de sus extremos. Las influencias planetarias pueden incluso atraparlo (o «domarlo») hasta el punto de que se quede dentro de la región planetaria del sistema solar durante toda su órbita. Se convertirá entonces en un cometa de «corto plazo». En lugar de dar una vuelta al Sol en millones de años lo hará en no más de un siglo, aproximadamente, o incluso en menos tiempo.

Los cometoides no sobreviven mucho tiempo a las sucesivas aproximaciones al Sol, o por lo menos sobreviven poco tiempo en términos astronómicos. Tanto si los cometoides experimentan un aumento de energía y se alejan para siempre del Sol, como si pierden energía y van hacia su posible destrucción en las cercanías del Sol, habrán dejado para siempre el cinturón de cometoides. Sin embargo, se estima que en los 4.500 millones de años de existencia del sistema solar sólo se ha perdido una quinta parte de la horda de cometoides. Se ha conservado, pues, la mayor parte de ellos.

Sigamos ahora a los cometoides que se acercan al Sol.

Cuando lo hacen por primera vez, quedan expuestos al calor solar, algo que no les había sucedido nunca cuando vivían en el lejano enjambre. A medida que el cometoide se calienta, los

hielos se evaporan y se liberan las partículas de polvo formadas por roca y hielo. La atracción gravitatoria del cometoide es demasiado débil para mantener estas partículas de polvo firmemente sujetas a la superficie y el movimiento ascendente del vapor arrastra consigo las partículas. El vapor y el polvo forman una especie de atmósfera que rodea al cometoide y las partículas de polvo brillan al Sol. El cometoide, a medida que se acerca al Sol, desarrolla de este modo una «coma» neblinosa y luminosa. El viento solar empuja hacia atrás la coma formando una «cola».

La coma y la cola aumentan de tamaño y de brillo a medida que el cometoide se acerca al Sol, y si el cometoide tiene un tamaño suficiente y se acerca lo bastante a la Tierra en su trayectoria, se convierte en un espectáculo magnífico, con la cola arqueada a lo largo de un gran trayecto por el cielo. Solamente en esta forma podemos ver y estudiar un cometoide. El objeto nebuloso y con cola en que se ha convertido un cometoide se llama «cometa». Esto viene de la palabra que en griego significa «cabellera», porque los imaginativos griegos pensaron que la cola se parecía a la cabellera suelta y larga de una persona, esparcida hacia atrás a medida que el cometa se desplaza por el cielo.

La distinción entre un cometa (y no un cometoide) y un asteroide es cosa de niños.

Un asteroide es un simple punto luminoso en el cielo, aunque lo observemos con el mejor telescopio. No parece más que una estrella (de ahí el nombre de «asteroide», que significa «parecido a una estrella»), pero se distingue de las estrellas porque se desplaza sobre el fondo de las estrellas auténticas.

Un cometa, en cambio, es un objeto mucho más brillante, de apariencia neblinosa y forma irregular. Los cometas grandes tienen una cola larga y su brillo es tal que pueden verse a simple vista. Incluso los cometas pequeños y distantes que sólo pueden verse telescópicamente presentan una neblina, a no ser que estén muy lejos del Sol.

Aún hay otra diferencia entre los dos.

Mientras que un asteroide es un objeto permanente, un cometa envejece con rapidez, y la distinción entre un cometa viejo y un asteroide puede ser confusa.

Cada vez que un cometa pasa cerca del Sol se vaporiza y se pierde una considerable cantidad de su sustancia, para no volver nunca más. Por lo tanto, cada vez que el cometa pasa al lado del Sol es más pequeño que en la ocasión anterior, y al final puede desvanecerse totalmente.

Los astrónomos han presenciado este hecho. El caso más famoso es el del cometa Biela, llamado así porque el primero en calcular su órbita fue un astrónomo austríaco aficionado, Wilhelm von Biela (1782-1856). El cometa tenía una órbita pequeña y alcanzaba su perihelio cada 6,6 años.

Fue observado en 1846 y se vio que había perdido material suficiente para causar una escisión. En lugar de un cometa aparecieron dos. En 1852 apareció de nuevo el cometa doble, con los dos fragmentos muy separados y el fragmento más pequeño muy débil.

Después de ello ya no volvió a verse más el cometa Biela. Al parecer se había evaporado por completo, o para decirlo con mayor dramatismo, se había muerto. Desde entonces se han observado otras fragmentaciones y desapariciones.

Pero los fallecimientos cometarios pueden ocurrir de distintos modos. El del cometa Biela, la muerte por evaporación total, es el más espectacular, pero un cometa puede fallecer también de una muerte más tranquila y mucho más prolongada.

Es muy posible que algunos cometas contengan más polvo sólido mezclado con su hielo que otros cometas, y el polvo puede estar distribuido de modo irregular. Las porciones de la superficie del cometa que son especialmente polvorientas se evaporarán más lentamente que las porciones en donde el hielo es más puro. Por este motivo la superficie cometaria puede fundirse formando mesetas en las zonas de más polvo separadas por valles debidos a la evaporación de las zonas de poco polvo. En ocasiones, las mesetas ricas en polvo pueden perder su base y hundirse, poniendo al descubierto superficies frescas para la evaporación y provocando un aumento repentino y temporal de la luminosidad del cometa. (Estos aumentos de luminosidad se observan con frecuencia). Estos hundimientos ayudan a esparcir el polvo por toda la superficie. Además, parte del polvo liberado por la evaporación del hielo y que se levanta de la superficie puede volver a caer sobre ella cuando el cometa se aleja del Sol.

Es mucho más probable que caiga el polvo que los vapores de hielo.

Por lo tanto, a medida que un cometa envejece, su superficie se hace más polvorienta. El polvo acaba formando una gruesa capa que oculta y aísla el hielo del calentamiento solar, de modo que un cometa viejo crea poca neblina y carece de cola.

El mejor ejemplo de un cometa viejo es el cometa Encke, llamado así porque su órbita fue calculada por primera vez en 1819 por el astrónomo alemán Johann Franz Encke (1791-1865). El cometa Encke tiene la órbita más pequeña de cualquier planeta conocido y el período más corto. Alcanza su perihelio cada 3,3 años. Se ha observado con detenimiento docenas de veces y en cada paso muestra una débil neblina, neblina que permite identificar el objeto como un cometa.

En tales circunstancias, un cometa puede durar mucho tiempo, a medida que pierde gota a gota el hielo enterrado bajo la capa protectora de polvo compacto. Como es lógico, en las primeras etapas una porción especialmente delgada de la cubierta de polvo puede romperse por la presión del hielo calentado debajo, y una gota de vapor y de polvo puede emerger del hielo recién expuesto. Esto provocará también un aumento del brillo cometario. Sin embargo, el cometa Encke superó hace mucho tiempo esta etapa.

Incluso un cometa viejo ha de acabar perdiendo todo su hielo, o por lo menos reduciendo el goteo de vapor a una cantidad tan pequeña que ya no pueda observarse. Podría suceder incluso que algunos cometas tuvieran un pequeño núcleo de roca y metal que persistiera después de la desaparición total del hielo.

¿Cómo podemos distinguir entonces un cometa muerto (tanto si tiene hielo bien escondido como si no lo tiene) de un asteroide?

Una diferencia que persiste es la naturaleza de la órbita. Casi todos los asteroides tienen órbitas situadas enteramente entre la de Marte y la de Júpiter. Por otra parte, estas órbitas no son muy excéntricas ni están muy inclinadas en relación con la «eclíptica» (el plano de la órbita de la Tierra).

En cambio, las órbitas cometarias se caracterizan por ser muy excéntricas y por tener habitualmente una elevada inclinación con la eclíptica.

Por lo tanto, si descubriéramos asteroides con órbitas que muestran elevadas excentricidades e inclinaciones, podríamos preguntar si realmente son asteroides o son cometas muertos.

Hay asteroides sospechosos de este tipo con órbitas que los acercan periódicamente al Sol, de modo que sus perihelios son más próximos al Sol que el planeta Venus. Se trata de los «objetos Apolo», y de ellos el más espectacular hasta hace poco era Ícaro, un asteroide descubierto en 1948 por el astrónomo alemán-estadounidense Walter Baade (1893-1960). Fue el asteroide número 1566 con una órbita determinada, por lo que recibió el nombre oficial de «1566 Ícaro».

En su perihelio, Ícaro se acerca a sólo 28,5 millones de kilómetros del Sol. El planeta Mercurio en su perihelio está a 45,9 millones de kilómetros del Sol, por lo que Ícaro alcanza una distancia del Sol que es sólo las tres quintas partes de la mejor marca de Mercurio. El asteroide ha recibido, pues, muy adecuadamente el nombre del personaje de la mitología griega que voló con su padre con unas alas de fabricación casera. Ícaro, en su arrogancia, voló demasiado cerca del Sol, y la cera que sujetaba las plumas de sus alas al marco de madera se fundió. Las plumas cayeron e Ícaro se precipitó a su muerte.

Ícaro, en su afelio, está a una distancia de trescientos millones de kilómetros, bastante dentro del cinturón de asteroides. Su excentricidad (la medida del alargamiento de la órbita) es de 0,827, la mayor conocida en un asteroide.

Su inclinación es también muy grande, de 23 grados. No es muy descabellado suponer que Ícaro es un cometa muerto.

Más tarde, el 11 de octubre de 1983, el Satélite Astronómico Infrarrojo (IRAS) captó un asteroide con un movimiento aparente sobre las estrellas insólitamente rápido. (Este movimiento rápido demostró inmediatamente que estaba cerca de la Tierra y que era muy probablemente un objeto Apolo). El asteroide recibió primero el nombre de 1983 TB, según el sistema utilizado para identificar los asteroides observados. La observación del IRAS no dio mucha información sobre el

asteroide, pero sí la suficiente para que lo pudieran seguir los telescopios ordinarios. Entonces se calculó su órbita. Puesto que fue el asteroide número tres mil doscientos con órbita determinada, podría llamarse «asteroide 3200». (Observemos que se han calculado tantas órbitas desde 1948 como en todos los años anteriores a ese año, lo cual debe atribuirse a la llegada de los ordenadores).

Lo notable en relación con el asteroide 3200 es que en el perihelio se acerca más al Sol que Ícaro. La distancia del perihelio del asteroide 3200 es de veintiún millones de kilómetros, sólo tres cuartas partes de la de Ícaro, menos de la mitad de la de Mercurio y una séptima parte de la de la Tierra. El asteroide recibió rápidamente el nombre de Faetón, un personaje de la mitología griega, hijo del dios Sol, que persuadió a su padre, Helios, para que le dejara tomar las riendas del carro solar durante un día. Los caballos del Sol, con las inexpertas manos de Faetón manejando las riendas, se desbocaron locamente por el cielo.

Para que no destruyeran la Tierra, Zeus fulminó con su rayo a Faetón. Está claro que Faetón se acercó al Sol más que Ícaro, tanto en el mito como en la astronomía.

En su afelio, «3200 Faetón», como debería llamarse ahora, está a 385 millones de kilómetros del Sol, bastante más lejos de lo que alcanza Ícaro. Puesto que el perihelio de Faetón es más próximo y su afelio más lejano que los correspondientes valores de Ícaro, es evidente que su órbita es todavía más alargada que la de Ícaro y su excentricidad superior. La excentricidad de Faetón es de 0,890, un nuevo récord para un asteroide. La inclinación de Faetón es de 22 grados, que puede compararse con los 23 grados de Ícaro. Faetón vuelve a pasar por el perihelio cada 1,43 años (522 días); en cambio, Ícaro lo hace cada 1,12 años (409 días).

Veamos pues: ¿es Faetón un cometa muerto?

Cuando se observó por primera vez a Faetón con un telescopio normal, estaba bastante lejos y alejándose. Los astrónomos esperaron su siguiente aproximación para comprobar si en estas condiciones más favorables podía observarse alguna fuga de vapor y de polvo. En diciembre de 1984 pasó cerca de la Tierra, sin que pudiera verse rastro de coma. De hecho, su aspecto era el de un asteroide rocoso, por lo que si se trataba de un cometa muerto debía de estar muy muerto.

¿Queda algún medio para establecer una distinción entre un cometa completamente muerto y un asteroide que no fue nunca un cometa? Por rara que parezca esta posibilidad, en cierto modo existe.

A medida que los cometas envejecen, el polvo que se libera dentro de la coma y de la cola continúa moviéndose alrededor del Sol en la órbita cometaria. Poco a poco, y debido a varios motivos, las partículas de polvo se distribuyen a lo largo de la órbita, aunque por lo menos durante un cierto tiempo se mantiene una concentración más densa de ellas en las proximidades del cometa, o en el lugar donde solía estar, si murió por evaporación total.

En algunas ocasiones, la Tierra intercepta en su órbita este enjambre de polvo y las partículas se calientan y se vaporizan en la atmósfera, formando rastros meteóricos con una frecuencia superior a la acostumbrada en una noche normal. De hecho, muy de vez en cuando la Tierra intercepta una concentración grande de estas partículas y el resultado parece la caída de una nevada luminosa (aunque ningún copo llega a alcanzar el suelo). Se produjo una lluvia importante de meteoros de este tipo en la parte oriental de Estados Unidos en la noche del 12 de noviembre de 1833, y este incidente inició el estudio serio de la meteorítica.

Hay un gran número de estas «corrientes de meteoros», como se llaman ahora. Se han calculado sus órbitas y se ha descubierto que tienen una naturaleza cometaria. A veces el cometa concreto relacionado con ellas está vivo y puede identificarse. Se ha encontrado una corriente de meteoros que sigue la órbita del desaparecido cometa Biela, y cuando sus partículas entran en la atmósfera de la Tierra, reciben el nombre apropiado de «biélidos».

Si un objeto Apolo es un cometa muerto, ¿podría suceder que una corriente de meteoros ocupara su órbita? Así parece, a no ser que el cometa esté muerto desde hace mucho, porque con el transcurso del tiempo las partículas de polvo acaban siendo recogidas por los planetas y satélites con que se encuentran o se dispersan por el espacio de algún modo u otro.

Resulta ser que la mayoría de objetos Apolo encontrados no van acompañados por corrientes

de meteoros, aunque dos de ellos, 2101 Adonis y 2201 Olijato, tienen órbitas que por lo menos están próximas a las órbitas conocidas de estas corrientes.

Fred Whipple señaló, sin embargo, que la órbita de Faetón está muy próxima a la de una corriente de meteoros muy conocida, llamada «gemínidos». Las órbitas son casi tan idénticas que es difícil imaginar que se trate de una simple coincidencia. Por lo tanto, si algún objeto Apolo es de veras un cometa muerto, este objeto será Faetón.

Como con todos los objetos Apolo, se plantea también con Faetón la cuestión de saber si puede chocar algún día con la Tierra. Si esto sucediera, la catástrofe sería terrible, porque se calcula que Faetón tiene casi cinco kilómetros de diámetro. Por fortuna, Faetón corta la eclíptica en un punto situado muy al interior de la órbita de la Tierra, por lo que se mantiene a varios millones de kilómetros de distancia, incluso en su punto de máxima aproximación a la Tierra.

Sin embargo, las atracciones gravitatorias sobre Faetón de los distintos planetas se combinan para desplazar el punto de cruce con la eclíptica hacia distancias crecientes del Sol. Si esto continúa así, según algunos cálculos, dentro de doscientos cincuenta años las órbitas se cortarán realmente y habrá una pequeña posibilidad de que tanto la Tierra como Faetón lleguen simultáneamente al punto de intersección orbital antes de que este punto se desplace más hacia el exterior y las colisiones resulten de nuevo imposibles.

Por otra parte, a medida que Faetón efectúe aproximaciones mayores hacia la Tierra, la gravedad de ésta lo enviará hacia una nueva órbita menos peligrosa para nosotros. Una colisión real es muy improbable.

(Nota. La sonda Giotto estudió el cometa Halley varios meses después de haber escrito yo este ensayo. Los resultados apoyaron la idea de una envoltura de polvo. De hecho el cometa Halley ha resultado ser negro como el carbón, porque tiene una gruesa capa superficial de polvo).

Tercera Parte: Más Allá Del Sistema Solar

11. Nuevas Estrellas

Cualquiera de nosotros puede confeccionar un «libro de récords» personal, si lo desea. ¿Cuál es el intervalo más largo de tiempo que hemos pasado sin dormir? ¿Cuál fue la mejor comida de nuestra vida? ¿Cuál es el chiste más divertido que hayamos oído nunca?

No estoy seguro de que el esfuerzo necesario para ello valga la pena, pero puedo contarles muy fácilmente el mayor espectáculo astronómico que haya presenciado nunca.

Quien como yo vive en las grandes ciudades del Nordeste no dispone de muchas posibilidades para ver grandes espectáculos astronómicos. Entre tanto polvo y tanta luz artificial, me considero afortunado si en alguna ocasión puedo distinguir a la Osa Mayor en el cielo nocturno de Nueva York.

Sin embargo, en 1925 hubo un eclipse total de Sol que fue visible desde la ciudad de Nueva York, aunque sólo de refilón. Se le llamó el eclipse de la calle Noventa y Seis, porque al norte de la calle Noventa y Seis de Manhattan no llegó a conseguirse la totalidad.

Sin embargo, yo vivía a unos dieciséis kilómetros al sur de esta línea límite y por lo tanto estaba bien situado, porque la totalidad duró en mi barrio un corto intervalo de tiempo. De todos modos el problema era que en aquel entonces yo sólo tenía cinco años de edad, y por mucho que me esfuerce no puedo recordar si vi el eclipse o no.

Creo que recuerdo haberlo visto, pero quizá me estoy engañando a mí mismo.

Más tarde, en 1932 (creo que en agosto), hubo un eclipse visible en la ciudad de Nueva York que alcanzó casi el noventa y cinco por ciento del total. Fue una visión emocionante porque el Sol quedó reducido a un delgado creciente y todo el mundo salió a la calle y aún había más personas en las azoteas mirándolo. (Supongo que la mayoría de las personas escogieron las azoteas para estar más cerca del Sol y tener mejor vista). Todos lo miramos a través de vidrios ahumados y de película fotográfica impresionada, lo cual es una protección muy insuficiente y no entiendo cómo no nos quedamos todos ciegos. En todo caso, yo vi aquel eclipse. Tenía doce años y lo recuerdo bien.

Luego, el 30 de junio de 1973, estaba yo a bordo del buque Canberra ante la costa del África occidental y vi un eclipse total de Sol, muy bello. Duró cinco minutos, y lo que me impresionó más fue el final. Apareció un diminuto punto de luz que luego, de repente, se esparció en medio segundo y se hizo tan brillante que no podía verse sin filtros. Era el Sol que volvía rugiendo, y éste fue el espectáculo astronómico más magnífico que haya visto nunca.

Hay otros espectáculos en el cielo que quizá no sean tan extraordinarios como un eclipse total de Sol, pero que son más interesantes para los astrónomos, e incluso para nosotros si llegamos a entenderlos del todo. Están, por ejemplo, las estrellas que parecen nuevas. Un eclipse solar es sólo un ejemplo de la Luna interponiéndose entre nosotros y el Sol, y es un fenómeno regular que puede predecirse fácilmente con siglos de antelación. En cambio, las estrellas nuevas...

Pero empecemos por el principio.

En nuestra cultura occidental se ha dado por sentado durante mucho tiempo que los cielos eran inmutables y perfectos. En primer lugar, así lo dijo el filósofo griego Aristóteles (384-322 a. J.C.) y durante dieciocho siglos fue difícil encontrar a alguien dispuesto a discutir a Aristóteles.

¿Y por qué dijo Aristóteles que los cielos eran inmutables y perfectos? Por la mejor de las

razones. A sus ojos el cielo parecía así, y ver es creer.

Sin duda el Sol cambiaba de posición en relación con las estrellas, y lo mismo hacía la Luna (que además recorría todo un ciclo de fases). Cinco objetos brillantes de aspecto estelar, que hoy llamamos Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, también cambiaban de posición, de una forma más complicada que el Sol y la Luna. Sin embargo, todos estos movimientos, junto con otros cambios de fase y de brillo, eran bastante regulares y podían predecirse.

De hecho se predecían con métodos que los astrónomos habían perfeccionado lentamente a partir de los sumerios, aquel pueblo inteligente, hacia el año 2000 a. J.C.

En cuanto a los cambios irregulares e impredecibles, Aristóteles mantenía que eran fenómenos de la atmósfera y no de los cielos. Son ejemplos de ello las nubes, las tormentas, los meteoros y los cometas. (Aristóteles pensaba que los cometas eran sólo gases ardientes elevados a gran altura en el aire: soberbios fuegos fatuos). La noción de Aristóteles sobre una perfección inmutable encajaba de maravilla con las ideas judeocristianas.

Según la Biblia, Dios creó el universo en seis días y al séptimo descansó, probablemente porque no quedaba nada más por hacer. Parecía una blasfemia imaginar a Dios dándose cuenta de repente de que había olvidado algo y poniendo de nuevo manos a la obra, cuando ya habían terminado los seis días, para crear una nueva estrella o una nueva especie de vida.

Es cierto que la Biblia describe a un Dios que se entromete continuamente en las actividades de los seres humanos, que se enfurece por lo más mínimo, que envía inundaciones y plagas y que ordena a Samuel que elimine a los amalequitas, incluidos mujeres, niños y ganado, pero eso se explica únicamente porque los seres humanos parecían irritarle. Dios dejó en paz a las estrellas y a las especies.

De modo que, con Aristóteles y con el Génesis, cuando una persona perteneciente a nuestra tradición occidental veía una nueva estrella en el cielo probablemente apartaba nerviosa la mirada y pensaba que no debían haber apurado aquel último trago de cerveza o de jerez o de cualquier otra bebida.

Además, no era probable que esta persona prestara atención a una nueva estrella, aunque apareciera en el cielo.

Pocas personas miraban el cielo con cierta constancia o se preocupaban de memorizar las formas de las constelaciones y de recordar alguna combinación. (¿Lo hace usted?) Incluso los astrónomos que observaban profesionalmente los cielos estaban interesados principalmente en las peregrinaciones de los cuerpos celestes («planetas») que se movían en relación con los demás: el Sol, la Luna, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. A partir de estas nociones elaboraron la seudo-ciencia de la astrología, que todavía impresiona a personas poco cultas (es decir, a la mayoría de la humanidad).

En cuanto a las demás estrellas que conservan sus posiciones relativas entre sí, las personas podían fijarse en la Osa Mayor y en el cuadrado de Pegaso y en otras configuraciones simples de estrellas relativamente brillantes, y poca cosa más. Por lo tanto, si aparecía una nueva estrella y provocaba un cambio en algún dibujo no anotado, era muy posible que nadie se diera cuenta, con excepción de una pequeñísima minoría, y que éstos fueran incapaces de convencer a los demás de que aquello era realmente una nueva estrella. Puedo imaginarme ahora mismo la conversación:

—¡Eh, mira, una estrella nueva!

—¿Dónde? ¿Por qué dices que es nueva?

—No estaba ahí anoche.

—Estás loco.

—No. En serio. Te lo juro. Que me muera si no es cierto. Esta estrella es nueva.

—¿Ah, sí? Y aunque lo fuera, ¿qué me importa?

Es evidente que si aparecía una estrella nueva y era realmente brillante, podía notarse. La estrella más brillante en el cielo es Sirio, pero hay varios planetas más brillantes todavía, como Júpiter y Venus. Si una nueva estrella tuviera «brillo planetario», es decir, si rivalizara con los

planetas en brillo y si fuera más brillante que una estrella corriente, sería muy difícil ignorarla.

La primera historia sobre la observación de una nueva estrella tiene por protagonista a Hiparco (190-120 a. J.C.), astrónomo griego que trabajaba en la isla de Rodas. Por desgracia no ha sobrevivido ninguno de sus escritos, pero sabemos lo bastante a través de los escritos de estudiosos posteriores para juzgar que fue el astrónomo más importante de la antigüedad.

La referencia más antigua que se ha conservado sobre la observación por Hiparco de una nueva estrella está en los escritos de un historiador romano, Plinio (23-79 d. J.C.), que escribió dos siglos después de Hiparco.

Plinio afirma que Hiparco había observado una estrella nueva y que esto le inspiró la idea de confeccionar un mapa de las estrellas del cielo.

Esto me parece bastante lógico. Hiparco debió de haber estudiado el cielo visible de noche como pocos lo hicieron, y por lo tanto podía reconocer una estrella determinada y saber que era nueva aunque los demás fueran incapaces de ello. Además, pudo muy bien plantearse la posibilidad de que otras estrellas nuevas hubiesen aparecido antes sin que él se hubiese dado cuenta. Si confeccionara un mapa, podría comparar las estrellas de aspecto vagamente sospechoso con el mapa y decidir inmediatamente si se trataba o no de una estrella nueva (o si era una estrella vieja).

A pesar del mapa de Hiparco y de su mejoramiento por otro astrónomo griego, Claudio Tolomeo (100-170), tres siglos después, los observadores occidentales no localizaron de modo definitivo nuevas estrellas durante los diecisiete siglos que siguieron a Hiparco. Hay que reconocer en todo esto el efecto de las enseñanzas de Aristóteles y del Génesis.

Sin embargo, había una civilización en la Tierra que estaba avanzada científicamente y que no oyó hablar nunca de Aristóteles ni del Génesis hasta el año 1500, más o menos. Esta civilización era China. Los chinos, sin las trabas de las opiniones religiosas relativas a la naturaleza de los cielos, estaban muy dispuestos a ver posibles estrellas nuevas apareciendo en el cielo. (Las llamaban «estrellas invitadas»).

Los chinos dejaron constancia de cinco estrellas nuevas especialmente brillantes, y cada una de ellas se mantuvo visible durante seis meses o más. En otras palabras, no se trataba solamente de estrellas nuevas, que aparecían en un lugar de los cielos donde no había habido antes ninguna estrella, sino que también eran temporales, porque acababan desapareciendo, mientras que las estrellas corrientes conservaban su lugar al parecer para siempre.

Por ejemplo, los chinos señalaron en el año 183 la aparición de una estrella nueva y muy brillante en la constelación del Centauro. (Como es lógico, los chinos tenían sus nombres propios para las distintas agrupaciones estelares, pero nosotros podemos traducir sus constelaciones a las nuestras). Según los chinos, la nueva estrella, en su momento de máxima luminosidad, tenía un brillo planetario superior al de la misma Venus, y se mantuvo visible durante un año. Sin embargo, estaba muy baja en el cielo meridional y no pudo observarse desde la mayor parte de Europa. Habría sido visible desde Alejandría, que era entonces el centro de la ciencia griega, pero Alejandría había pasado ya sus mejores días, y el último astrónomo griego notable, Claudio Tolomeo, había muerto ya.

La siguiente nueva estrella brillante apareció en Escorpio en el año 393, pero era menos brillante que la de Centauro y no tenía brillo planetario. Fue durante poco tiempo tan brillante como Sirio (la estrella común más brillante) y siguió viéndose durante ocho meses. Sin embargo, no hay informes sobre ella en Europa. El Imperio romano se había cristianizado, y la clase de sabio que existía entonces discutía sobre teología y no sobre los detalles del cielo.

Pasaron unos seis siglos antes de que los chinos comunicaran la presencia de otra nueva estrella de brillo planetario. Estaba situada en la constelación de Lupus, de nuevo muy baja en el cielo austral, y apareció en el año 1006. Es la estrella más brillante sobre la que informaron los chinos, y puede muy bien haber sido la estrella más brillante que haya aparecido en el cielo en épocas históricas.

Según algunos astrónomos modernos que han estudiado los documentos chinos, esta estrella en su momento de máximo brillo debió de haber sido doscientas veces más brillante que Venus en

su momento de máximo brillo, lo que significa quizá una décima parte del brillo de la luna llena. (La estrella era un simple punto de luz, y todo ese brillo encerrado en un punto debió de resultar realmente deslumbrante al mirarlo).

La estrella sólo conservó su brillo máximo o casi máximo durante unas semanas, pero se desvaneció lentamente y no se hundió en la invisibilidad hasta pasados unos tres años.

Los árabes, que habían utilizado ventajosamente la herencia científica griega y que eran los astrónomos más importantes de Occidente en aquella época, también señalaron el fenómeno. Sin embargo, sólo un par de informes muy dudosos se han excavado de las crónicas europeas con posibles referencias a la estrella, pero hay que tener en cuenta que Europa estaba apenas emergiendo de la oscuridad del medioevo.

Luego, en 1054 (el día 4 de julio, precisamente, según algunas crónicas) apareció una nueva estrella muy brillante en la constelación de Tauro. No era tan brillante como la nueva estrella de Lupus medio siglo antes, pero en su momento máximo fue dos o tres veces más brillante que Venus.

Durante tres semanas se mantuvo con tanta intensidad que podía verse a plena luz del día (si uno sabía a dónde mirar) e incluso proyectaba de noche una ligera sombra (como hace a veces Venus). Se mantuvo visible a simple vista durante casi dos años y fue la estrella nueva más brillante vista en épocas históricas y situada lo bastante alta en el cielo boreal para que pudiera verse fácilmente desde Europa. Estaba además en el Zodíaco, la región del cielo más estudiada por los astrónomos del momento.

Crónicas chinas y japonesas hablan de la estrella nueva de 1054, pero en Occidente, a pesar de que estaba alta en el cielo, y dentro del Zodíaco por si fuera poco, apenas hay referencias. En los últimos años se ha descubierto una referencia árabe que podría hablar de la nueva estrella, y se ha descubierto incluso una referencia italiana, pero ciertamente se trata de citas menores comparadas con el espectacular incendio que debió observarse en el cielo.

Finalmente, en 1181 apareció una nueva estrella en Casiopea, también alta en el cielo boreal. Sin embargo, no alcanzó mucho brillo, y no alcanzó siquiera el brillo de Sirio. Aunque hablaron de ella chinos y japoneses, también pasó inadvertida en Europa.

Tenemos pues cinco estrellas nuevas de este tipo en el espacio de mil años, que los chinos describieron fielmente y que sin embargo pasaron prácticamente inadvertidas en Occidente. Lo único con que contaba Occidente era la historia de Plinio sobre la observación de Hiparco y esta historia contenía tan pocos detalles (y la capacidad de Plinio por creérselo todo, por ridículo que fuera, era notoria) que como máximo podía considerarse legendaria.

Permítanme, sin embargo, que mencione todavía otra estrella nueva de la antigüedad que debió de haber sido más espectacular todavía que las cinco referencias chinas y la sexta de Hiparco.

En 1939, el astrónomo ruso-estadounidense Otto Struve (1897-1963) descubrió débiles rastros de nebulosidad en la constelación austral de Vela. Entre 1950 y 1952 continuó el estudio el astrónomo australiano Colin S. Gum (1924-1960), quien publicó sus descubrimientos en 1955.

Gum pudo demostrar que el fenómeno es una gran nube de polvo y de gas que cubre una dieciseisava parte del cielo y que en su honor ha recibido el nombre de «nebulosa Gum».

Los astrónomos saben ahora que la existencia de este tipo de nube de polvo y de gas indica que alguna vez apareció una estrella nueva en su centro. El centro de la nube está a sólo 1500 años luz de nosotros, una distancia mucho menor que la de cualquiera de las estrellas nuevas observadas en la antigüedad. (Como es natural, ninguno de los antiguos observadores conocía la distancia real a que estaban las estrellas nuevas –o cualquier estrella–, pero los astrónomos disponen ahora de medios para estimar estas distancias).

Puesto que la nueva estrella de la nebulosa Gum estaba mucho más cerca que las demás, también debió de haber sido mucho más brillante. Los astrónomos creen ahora que en el momento máximo de su brillo pudo haber sido tan luminosa como la luna llena. Cualquiera que la mirara debió de pensar que era un trozo desprendido del Sol que se había quedado pegado e inmóvil en el cielo.

Quien hubiera visto esta nueva estrella encendida en el cielo no hubiera podido ignorarla, y

sin embargo no hay constancia alguna de ella en ninguna parte. Dado que estaba situada bastante al Sur, parece increíble que no haya dejado ningún rastro.

Pero no hay ningún misterio en ello. A partir del tamaño de la nebulosa Gum y de su velocidad de expansión podemos calcular en qué momento todo el conjunto tenía el tamaño de una estrella: y esto sucedió hace treinta mil años, en el paleolítico. Estoy seguro de que fue vista, pero no queda ninguna referencia.

¡Qué lástima! Este fenómeno astronómico fue seguramente un gran espectáculo, aunque durante varias semanas sin duda fue imposible mirar la estrella, a no ser que se utilizara un vidrio ahumado o que se observara a través de un velo de nubes.

Veamos qué sucedió después de 1181, cuando apareció la quinta y última nueva estrella brillante que sólo conocemos a través de crónicas chinas.

Pasaron casi cuatrocientos años antes de que apareciera la siguiente estrella nueva, y por aquel entonces las cosas habían cambiado en Europa. El continente había progresado y estaba avanzando rápidamente en ciencia y tecnología. El astrónomo polaco Nicolás Copérnico (1473-1543) había publicado un libro sobre astronomía en 1543 que proponía la teoría de que el Sol, y no la Tierra, era el centro del sistema planetario, y que la misma Tierra era un planeta como los demás. Esto inició lo que ahora llamamos «revolución científica».

Tres años después de la publicación del libro de Copérnico nació Tycho Brahe (1546-1601) en la provincia más meridional de Suecia, que entonces formaba parte de Dinamarca. Tycho Brahe resultó ser el mejor astrónomo desde Hiparco.

Es el año 1572. En aquella época los europeos continuaban sin tener idea de que pudiera aparecer una estrella nueva en el cielo, si se prescinde de la historia, quizá inventada, de Plinio sobre Hiparco. En aquel año, Tycho (se le conoce normalmente por el primer nombre, como sucede con muchos de los estudiosos y artistas de la época, especialmente en Italia) tenía sólo veintiséis años de edad y era todavía un personaje desconocido.

El 11 de noviembre de 1572, al salir Tycho del laboratorio de su tío quedó atónito al ver una nueva estrella en el cielo. No podía pasar inadvertida. Estaba en lo alto del cielo y en la bien conocida constelación de Casiopea. Casiopea consiste en una W ladeada formada por cinco estrellas bastante brillantes, y esa W es una combinación casi tan familiar como la Osa Mayor. Pero esta vez la W de Casiopea estaba formada por seis estrellas, y la sexta estrella, situada a un lado de la W, era mucho más brillante que todo el resto junto. De hecho era más brillante que Venus, pero no podía ser Venus, porque ese planeta no se encuentra nunca en aquella parte del cielo.

Tycho preguntó a todas las personas que iba encontrando si podían ver la estrella, pues, dadas las circunstancias, no se atrevía a creer lo que veían sus ojos. (Y todos la veían). Intentó también averiguar si ya estaba en el cielo la noche anterior, porque él no había tenido ocasión de contemplar el cielo, pero, evidentemente, nadie pudo decírselo.

Al parecer, un informe del astrónomo alemán Wolfgang Schuler podría indicar que vio la estrella cinco noches antes que Tycho. Sin embargo, Schuler no se interesó más por el tema, mientras que Tycho sí. Tycho comenzó una serie de observaciones nocturnas con excelentes instrumentos que inventó él mismo.

La nueva estrella de Tycho estaba bastante cerca del polo norte celeste, de modo que nunca se ponía, y Tycho pudo observarla día y noche, pues (para sorpresa suya) era tan brillante que podía verse de día; al menos cuando la observó por primera vez. De noche en noche la estrella fue desvaneciéndose lentamente, pero tardó un año y medio entero en desaparecer totalmente de vista.

Tycho se preguntaba cómo interpretar la nueva estrella, pues, por lo que él sabía, era la única estrella nueva que había aparecido en los cielos, sin contar la vaga referencia pliniana a Hiparco.

La nueva estrella representaba sin duda un cambio en el firmamento, por lo tanto debía de ser, según Aristóteles, un fenómeno atmosférico. En tal caso estaría más cerca de la Tierra que de la Luna.

Ahora bien, si en un momento dado se observa detenidamente la posición de la Luna en relación con las estrellas desde dos puntos de la Tierra separados entre sí por una distancia

razonablemente grande, la Luna, vista desde cada punto, parece estar en una posición ligeramente diferente con respecto a estrellas cercanas. Este es el «paralaje» de la Luna, y si se conoce la magnitud del cambio de posición y la distancia entre los dos puntos de observación, la distancia de la Luna puede calcularse mediante la trigonometría. No era fácil realizar esto antes de que existieran relojes precisos y comunicaciones fáciles entre lugares diferentes de la Tierra, pero se consiguió y se supo que la Luna estaba aproximadamente a un cuarto de millón de kilómetros de la Tierra.

No se conocía la distancia de ningún otro cuerpo celestial porque, aparte de la Luna, ningún otro objeto en el cielo ofrece un paralaje que pueda medirse. Como la distancia de un objeto varía en relación inversa a su paralaje, eso significa que todos los objetos visibles que no son fenómenos atmosféricos están más lejos que la Luna. O, dicho de otro modo: cuando dejamos la atmósfera de la Tierra, el primer objeto con que nos encontramos en nuestro viaje fuera de la Tierra es la Luna. Incluso los antiguos griegos estaban seguros de ello.

Por lo tanto, si la estrella nueva de Tycho era atmosférica y estaba más cerca de nosotros que la Luna, esta nueva estrella debería tener un paralaje mayor que el de la misma Luna y este paralaje debería poder medirse fácilmente.

No fue así. Todos los esfuerzos de Tycho fracasaron.

La nueva estrella no mostró ningún tipo de paralaje; es decir, su paralaje era tan pequeño que no podía medirse.

Esto significaba que la nueva estrella estaba más lejos que la Luna, probablemente mucho más lejos, y esto refutaba de modo evidente la afirmación aristotélica sobre la inmutabilidad de los cielos.

Tycho se consideraba noble y tenía una opinión muy elevada y esforzada de su posición social (aunque condescendiera en casarse con una mujer de situación social inferior y tuviera una vida matrimonial muy feliz con ella).

Normalmente habría considerado que escribir un libro quedaba muy por debajo de su dignidad, pero le impresionó tanto la importancia del fenómeno de la estrella nueva, y la consiguiente refutación de Aristóteles, que escribió un libro de cincuenta y dos grandes páginas, que se publicó en 1573. El libro contenía todas las observaciones y mediciones que había realizado sobre la estrella y todas las conclusiones a que había llegado. Le convirtió instantáneamente en el astrónomo más famoso de Europa.

Tycho escribió el libro en latín, el idioma universal de los estudiosos europeos de la época, y con un título largo, según era costumbre en aquel entonces. Sin embargo el libro se suele citar con una versión breve del título: De nova stella («Sobre la estrella nueva»).

A consecuencia de este título, el tipo de estrella nueva que he estado explicando en este ensayo se conoce siempre con el nombre de «nova», que es el equivalente latino de «nueva».

Como es natural, después del gran éxito de Tycho, otros astrónomos empezaron a vigilar el cielo en busca de novas.

Por ejemplo, en 1596 el astrónomo alemán David Fabricius (1564-1617), amigo de Tycho, localizó una nueva estrella en la constelación de la Ballena que no había notado antes. Era una estrella de tercera magnitud, es decir, su brillo era mediano (las estrellas de sexta magnitud son las menos brillantes que pueden verse a simple vista), y Fabricius tiene el mérito de haberse fijado en ella.

El hecho de que Fabricius no hubiese visto antes la estrella no demuestra necesariamente que fuera una nova, claro está. Quizá había existido siempre y él no se había fijado en ella. La estrella no estaba en los mapas estelares. Tycho había confeccionado el mejor de todos los tiempos, pero ni siquiera el mapa de Tycho era perfecto.

Sin embargo, había una solución fácil; lo único que debía hacer Fabricius era continuar observando la estrella. Fabricius vio que de noche en noche la estrella perdía brillo, hasta que al final desaparecía. Esto demostraba que era una nova, por lo menos en su opinión, y la anunció como tal. Sin embargo esta nova era tan poco brillante que no causó mucha conmoción.

Otro astrónomo alemán de la misma época fue Johannes Kepler (1571-1630). Kepler había trabajado con Tycho, de más edad que él, en los últimos años de su vida, y Kepler demostraría ser un científico todavía más notable por razones que superan el ámbito de este ensayo.

En 1604 Kepler observó la presencia de una estrella nueva y brillante en la constelación de Ofiuco. Era una estrella mucho más brillante que la nova de Fabricius, porque era tan brillante como el planeta Júpiter. Esto significaba que no era tan brillante como la nova de Tycho, pero sí lo bastante brillante para verse. Kepler la observó durante todo el tiempo que se mantuvo visible, y pasó un año entero antes de que se hundiera en la invisibilidad.

En aquella época la astronomía estaba a punto de experimentar una notable revolución. Pronto se inventaría el telescopio y pronto se llevarían a cabo observaciones que habrían sido inconcebibles en épocas anteriores. Además, el telescopio sería el predecesor de otros avances tecnológicos que aumentarían mucho la capacidad del astrónomo para estudiar el universo, culminando con la fabricación de los enormes radiotelescopios y de las sondas interplanetarias de nuestros días.

¡Cómo ha mejorado en nuestra época nuestra capacidad de estudiar estas novas si se compara con lo que Tycho y Kepler podían hacer en la suya!

De todos modos, fue una desgracia para los astrónomos que la nova de Kepler de 1604 fuera la última estrella nueva de brillo planetario que apareciera en el cielo.

Desde entonces, nada.

Y sin embargo, a pesar de ello, los conocimientos sobre las novas continuaron progresando, como explicaré en el capítulo siguiente.

12. Estrellas De Brillo Creciente

Me pidieron recientemente que escribiera un ensayo sobre la nueva película Star Trek IV. Regreso a casa. Una señora joven que trabajaba para quienes querían el ensayo se ocupó de conseguir un par de entradas para que ella y yo pudiéramos asistir al preestreno. Ya me diría dónde y cuándo nos encontraríamos.

Los días pasaron y no tuve más noticias del proyecto.

Finalmente, en las primeras horas del mismo día del preestreno me llamó. Al parecer le había costado mucho conseguir las entradas.

—¿Por qué? —le pregunté—. Usted representa a una distribuidora importante y la gente del cine debería estar muy contenta de que yo escribiera sobre la película, puesto que seguramente están enterados de que Star Trek me gusta.

—De esto se trata —dijo la joven, exasperada—. Cuando vi que no tenían muchas ganas de darme entradas, les dije: «¿No quieren que Isaac Asimov escriba sobre la película?» Y la chica del teléfono me preguntó: «¿Quién es Isaac Asimov?» ¿Se imagina usted?

Me eché a reír y le dije:

—Claro que puedo imaginármelo. Calculo que uno de cada cien estadounidenses ha oído hablar de mí. Usted simplemente estaba hablando con un representante del noventa y nueve por ciento restante. ¿Qué hizo?

—Fotocopié varias páginas del catálogo «Libros en venta» que reproduce los títulos de sus obras, y las envié por un mensajero a la chica con una nota que decía: «Este es Isaac Asimov». Me llamó al instante y dijo que podía recoger las entradas en taquilla.

La joven señora y yo fuimos a su debido tiempo a la taquilla, conseguimos las entradas, que estaban ya reservadas, y fuimos a ver la película (que me gustó mucho).

Y cuando, como era inevitable, la gente sentada a mi lado empezó a pasarme los programas para que los firmara, mi compañera exclamó, indignada:

—¿Cómo podía no conocerle aquella muchacha?

Yo le dije:

—Por favor. Estos incidentes me gustan. Me ayudan a no perder la cabeza.

Sin embargo, no deseo que me pase demasiado a menudo, o sea que continuaré escribiendo estos ensayos, y quizá gracias a ellos una o dos personas más se enterarán de mi existencia.

En el capítulo anterior escribí sobre las novas o «estrellas nuevas» que de repente se inflaman en los cielos. Finalicé con la nova de 1604, observada por Johannes Kepler, y dije que fue la última nova aparecida en los cielos con un brillo que rivalizaba con el de planetas como Júpiter o Venus.

Sigamos adelante.

En 1609 el científico italiano Galileo Galilei (1564-1642) construyó un telescopio después de haber oído rumores de que en los Países Bajos se había inventado un aparato de este tipo. Luego hizo algo en lo que no habían pensado los primeros telescopistas. Lo apuntó hacia los cielos.

Una de las primeras cosas que Galileo hizo con su telescopio fue mirar la Vía Láctea. Vio que la Vía Láctea no era una neblina luminosa, sino un conjunto de estrellas muy débiles, cada una de

las cuales era tan débil que no podía verse a simple vista. Galileo comprobó que dondequiera que apuntara su telescopio, el instrumento aumentaba el brillo de todas las estrellas y convertía en visibles numerosas estrellas que normalmente eran demasiado débiles para verse.

Esto a nosotros no nos sorprende. Al fin y al cabo hay una gran variación en el brillo de los cuerpos celestes, desde el mismo Sol hasta las estrellas menos brillantes que podemos ver. ¿No puede esta variación extenderse hasta abarcar estrellas tan poco brillantes que no pueden ni siquiera distinguirse? Nosotros, con nuestros conocimientos actuales, podríamos pensar que el descubrimiento de Galileo fue una simple confirmación de algo tan evidente que apenas necesitaba confirmación.

Sin embargo, no era así como se pensaba en la época de Galileo. La gente estaba bastante segura de que el universo había sido creado por Dios para el servicio específico de los seres humanos. Todo en la existencia estaba diseñado para hacer posible la vida humana, o para facilitar el confort del hombre, o para ayudarle a desarrollar el carácter humano y ejercitar el alma humana, o por lo menos para inculcarle una lección moral beneficiosa.

En tal caso, ¿qué posible uso tendrían las estrellas invisibles?

Seguramente se supuso que las estrellas visibles sólo en el telescopio eran artificios del aparato, algo creado por el telescopio, ilusiones inexistentes en la realidad. Hay a este respecto una anécdota bien conocida cuando Galileo descubrió los cuatro grandes satélites de Júpiter: un estudioso señaló que estos satélites no aparecían citados en ninguna parte de los escritos de Aristóteles y que por lo tanto no existían.

Sin embargo la utilización del telescopio se difundió.

Se construyeron muchos, y las mismas estrellas vistas y documentadas por Galileo fueron vistas y documentadas por otros astrónomos. Al final tuvo que aceptarse que Dios había creado estrellas invisibles, y ésta fue la primerísima indicación de que quizá el universo no se había creado para el bien de la humanidad como objetivo primario (punto este que no he visto bien tratado en las historias de la ciencia).

El descubrimiento tuvo que alterar necesariamente la actitud de los astrónomos ante las novas. Mientras sólo existían estrellas visibles, una estrella que se hacía visible donde no había ninguna debía considerarse como algo que estaba naciendo. Era una estrella nueva (y como ya he señalado el término «nova» significa «nueva» en latín). También, cuando una nova se hacía invisible, debía considerarse que la estrella acababa perdiendo su existencia.

Sin embargo, si podían existir estrellas tan oscuras que no se veían sin telescopio, era muy posible que una nova fuera una estrella que siempre había existido. Su brillo podía haber sido tan bajo que no se viera, luego este brillo podía haber aumentado hasta que la estrella se hiciera visible a simple vista y finalmente podía haber perdido su brillo de modo que fuera imposible verla sin telescopio.

En tal caso, una nova podía no ser una estrella nueva sino simplemente una estrella de brillo variable, y no constante como el de una estrella corriente. Una nova era, pues, una estrella «variable».

Pronto se comprobó que esto era cierto en relación con la nova aparente que, como he señalado en el capítulo anterior, David Fabricius había observado en 1596 en la constelación de la Ballena. En su momento de brillo máximo era una estrella de potencia media –de tercera magnitud–, pero al cabo de un tiempo desapareció. Esto la convirtió en una nova en aquella época pretelescópica.

Sin embargo, en 1638 el astrónomo holandés Holwarda de Franeker (1618-1651) observó una estrella precisamente en la posición donde Fabricius había visto su nova cuarenta y dos años antes. Holwarda observó que perdía brillo hasta desaparecer, aparentemente, para luego reaparecer. Pero Holwarda tenía la ventaja de estar utilizando un telescopio y mientras observaba la estrella pudo comprobar que en realidad no llegaba a desaparecer nunca.

Es cierto que perdía brillo y que al final ya no podía verse a simple vista, pero se mantenía visible siempre si se observaba con el telescopio.

En aquellos días la noción de una estrella variable era tan revolucionaria como la de una estrella nueva. La antigua doctrina griega de la perfección inmutable de los cielos quedaba destruida tan completamente con una noción como con la otra.

Resultó que la estrella que habían observado primero Fabricius y luego Holwarda era en su punto de máximo brillo unas doscientas cincuenta veces más luminosa que en su mínimo, y que oscilaba entre estos extremos cada once meses, aproximadamente. El astrónomo alemán Johannes Hevelius (1611-1687) dio a esta estrella el nombre de Mira (del latín «maravillosa») como tributo a su asombrosa variabilidad.

Mira fue la primera estrella variable descubierta, pero a medida que transcurría el tiempo se fueron descubriendo otras. Sin embargo, la mayoría de las variables resultaron serlo menos que Mira.

El astrónomo italiano Geminiano Montanari (1633-1687) observó en 1677 que Algol, una estrella en la constelación de Perseo, era variable. La variabilidad era muy irregular, porque la estrella pasaba por un ciclo de aumento y disminución del brillo cada sesenta y nueve horas. En su punto máximo, Algol era sólo tres veces más brillante que en su mínimo.

En 1784, el astrónomo inglés John Goodricke (1764-1786) descubrió que la estrella Delta Cephei, de la constelación de Cefeo, variaba con un ciclo regular de 5,5 días, pero era sólo el doble de brillante en su máximo que en su mínimo.

Se conocen actualmente muchas estrellas variables, y podría afirmarse fácilmente que las novas también son variables. Sin embargo, si se considera la intensidad con que brillan, su brillo debe cambiar mucho más que el de las variables corrientes. Además, puesto que las novas observadas por Tycho Brahe y Kepler aparecían sólo una vez y se sumían luego permanentemente en la invisibilidad, tenían que ser variables muy irregulares.

Todo esto indicaba que debía haber algo muy insólito en relación con las novas y este hecho causó frustraciones entre los astrónomos, porque, a pesar de estar ahora en guardia con sus telescopios, no apareció ninguna nova brillante en el cielo después de 1604.

De hecho, durante mucho tiempo no aparecieron ni siquiera novas de escaso brillo relativo (o por lo menos no fueron observadas). Sin embargo, en 1848, el astrónomo inglés John Russell Hind (1823-1895) observó una nova en la constelación de Ofiuco. Esta nova no alcanzó siquiera la magnitud cuarta, por lo que fue una estrella bastante oscura y habría pasado totalmente inadvertida en la época en que había menos astrónomos estudiando el cielo, y estudiándolo además con menor detenimiento.

La nova de Hind no era una estrella variable corriente, porque después de perder su brillo no volvió a recuperarlo. No mostraba un ciclo claro de variabilidad. Dicho con otras palabras, era una estrella sin repetición, algo que en aquella época parecía la característica básica de una nova.

Se descubrieron tres o cuatro novas poco brillantes en los años restantes del siglo XIX. Una de ellas fue descubierta en 1891 por un clérigo escocés y astrónomo aficionado, T. D. Anderson. Sólo fue de quinta magnitud.

En la noche del 21 de febrero de 1901, Anderson descubrió una segunda nova mientras iba andando a un compromiso social. Esta última, situada en la constelación de Perseo, acabó llamándose «Nova Persei».

Anderson la había descubierto pronto y todavía estaba aumentando de brillo. Dos días después había alcanzado su máximo en la magnitud 0,2, lo cual es más brillante que la primera magnitud. Esto la hacía más brillante que Vega, la cuarta estrella más brillante. Todavía le faltaba mucho para alcanzar un brillo planetario, pero era la nova de más brillo observada en tres siglos.

Los astrónomos ya disponían de técnicas fotográficas y de este modo pudieron descubrir algo sobre las novas que hubiera sido imposible antes.

La región del cielo donde brillaba Nova Persei había sido fotografiada con frecuencia y los astrónomos, después de mirar las fotografías tomadas antes de la aparición de la nova, descubrieron que en el mismo punto donde más tarde apareció Nova Persei había existido antes una estrella muy poco brillante de magnitud trece.

En cuatro días, según se calculó, Nova Persei había aumentado su brillo 160.000 veces y después de unos meses todo este brillo adicional acabó perdiéndose de nuevo. Se trataba desde luego de una variable muy exagerada, y su comportamiento era muy diferente del de las variables ordinarias.

Además, al tomar exposiciones prolongadas la cámara podía revelar detalles que escaparían a un observador visual, aunque éste estuviera equipado con un telescopio.

Unos siete meses después de la desaparición de Nova Persei del firmamento, una película de larga exposición con la débil estrella que era ahora, reveló una tenue niebla de luz a su alrededor que a lo largo de semanas y de meses aumentó de tamaño. Era evidente que la estrella tenía a su alrededor una tenue nube de polvo que estaba reflejando su luz y se estaba expandiendo. En 1916, quince años después, la nube era más espesa y continuaba expandiéndose y alejándose de la estrella en todas direcciones.

Parecía claro que la estrella había sufrido una titánica explosión que había expulsado gases de ella. Se dijo que Nova Persei (y probablemente otras novas) pertenecía a un grupo de estrellas llamadas «variables eruptivas» o «variables explosivas». Sin embargo, aunque estos nombres eran descriptivos y pintorescos, no podían, ni consiguieron, desplazar la denominación antigua, más breve y consagrada, de «nova».

Diferentes observadores vieron una nova todavía más brillante el 8 de junio de 1918 en la constelación del Águila. En aquel momento era una estrella de primera magnitud, y dos días después alcanzó su máximo, brillando con una magnitud de -1,1, es decir, que era casi tan brillante como Sirio, la estrella más brillante del firmamento.

Nova Aquilae apareció durante la primera guerra mundial, cuando la última gran ofensiva de los alemanes en el frente occidental empezaba a perder impulso. Cinco meses después, los alemanes se rindieron y Nova Aquilae fue llamada la «estrella de la victoria» por los soldados aliados del frente.

También Nova Aquilae apareció en fotografías tomadas antes de que explotara. En su máximo había sido unas tres veces más brillante que Nova Persei (y desde entonces no se ha visto una nova tan brillante), pero Nova Aquilae ya era más brillante de entrada y su brillo al explotar sólo aumentó 50.000 veces.

También se había fotografiado el espectro de Nova Aquilae antes de convertirse en nova, y hasta ahora es la única nova que tiene registrado su espectro de prenova.

El espectro demostró que era una estrella caliente con una temperatura superficial que era el doble de la del Sol. Esto es lógico, pues aunque no supiéramos nada sobre las características de la explosión estelar, tiene sentido pensar que una estrella caliente puede explotar con más facilidad que una estrella fría.

En diciembre de 1934 apareció una nova en la constelación de Hércules que consiguió alcanzar la magnitud de 1,4. Nova Herculis no fue tan brillante como Nova Persei o Nova Aquilae, y no hubiera atraído mucho la atención si al volver a la magnitud trece, de la cual había partido trece meses antes, su brillo no hubiese aumentado otra vez de repente. Al cabo de unos cuatro meses era tan brillante que casi podía verse a simple vista. No bajó por segunda vez a la magnitud trece hasta 1949. Al parecer, las estrellas podían aumentar de brillo más de una vez y los astrónomos empezaron a hablar de «novas recurrentes».

La nova notable más reciente apareció en la constelación del Cisne el 19 de agosto de 1975. Nova Cygni aumentó de brillo con una velocidad insólita, se hizo treinta millones de veces más brillante en el transcurso de un único día, y alcanzó la segunda magnitud. Perdió brillo rápidamente y se perdió para la observación a simple vista en tres semanas. Al parecer, cuanto más rápido e intenso es el aumento de brillo, más rápida y más intensa es su pérdida.

Y, no obstante, ninguna de las novas que aparecieron según he dicho durante la época del telescopio son tan importantes, ni con mucho, como una nova que no he mencionado: una nova que en su máximo tenía un brillo que apenas podía verse a simple vista.

Esta nova, que apareció en la constelación de Andrómeda, fue observada quizá por primera

vez el 17 de agosto de 1885 por un astrónomo francés, L. Gully. Gully estaba probando un nuevo telescopio, que resultó defectuoso, y no pensó que debiera dar importancia a la observación de una nueva estrella que quizá no era real.

Es posible que un astrónomo aficionado irlandés, I. W. Ward, observara la estrella el 19 de agosto, pero tampoco dio importancia al hecho, y sólo posteriormente reclamó su prioridad.

El descubridor oficial fue el astrónomo alemán Ernst Hartwig (1851-1923), y su primera observación de la nova fue el 20 de agosto de 1885. Consideró que era de séptima magnitud, quizá próxima a la sexta.

Sin embargo había casi luna llena y la observación era difícil. Hartwig decidió llevar a cabo más observaciones antes de anunciar la nueva estrella, pero (como suele pasar) se interpuso rápidamente una semana entera de tiempo nublado. Finalmente, el 31 de agosto Hartwig envió un informe oficial. Enseguida otros astrónomos apuntaron sus telescopios hacia Andrómeda.

En aquel momento la estrella estaba todavía en la región de la séptima magnitud. Hasta entonces no se había observado nunca una nova de tan escaso brillo, y al principio nadie pensó que se trataba precisamente de esto. Parecía una estrella variable ordinaria. Una estrella variable recibe el nombre de su constelación con una letra de prefijo, que comienza con la R y sigue el orden del alfabeto.

Puesto que la estrella de Hartwig era la segunda variable registrada en Andrómeda, recibió el nombre de «S Andromedae».

De todos modos, a fines de agosto la estrella empezó a perder brillo rápidamente y continuó desvaneciéndose hasta que un año después había bajado a la magnitud catorce.

Había sido una nova, aunque una nova extraordinariamente débil, pero conservó su nombre.

Sin embargo, S Andromedae no estaba solamente en Andrómeda, sino en el centro de un objeto dentro de la constelación, un objeto llamado «nebulosa de Andrómeda», y ésta es una historia aparte.

La nebulosa de Andrómeda puede verse a simple vista como una «estrella» poco brillante y algo borrosa de cuarta magnitud; su posición fue anotada por los astrónomos árabes de la época medieval.

La primera persona que la observó con un telescopio, en 1611, fue el astrónomo alemán Simon Marius (1573-1624). Se vio entonces claramente que no era una estrella.

No era un parpadeo puntual de luz, sino un objeto extenso y nebuloso como una pequeña nube en el cielo.

Los objetos borrosos que los astrónomos del siglo XVIII consideraban más importantes eran los cometas, pero la nebulosa de Andrómeda, y otros objetos como ella, no eran cometas. Un cometa cambia de posición en el cielo, cambia de forma y de brillo, etc. Sin embargo, las distintas nebulosas eran inmutables e inmóviles. A pesar de ello, astrónomos entusiastas observaban en ocasiones estas nebulosas y pensaban que habían descubierto un nuevo cometa, para luego comprobar que se habían equivocado. El más importante cazador de cometas del siglo XVIII fue el astrónomo francés Charles Messier (1730-1817), al que le molestaba caer en esta trampa.

Así pues, en 1781 empezó a confeccionar un catálogo de todos los objetos nebulosos del cielo que podían confundirse con cometas. Su intención era que cualquier cazador de cometas, antes de anunciar un nuevo descubrimiento, comprobara su resultado consultando el catálogo y asegurándose de que no se había engañado. Messier numeró los objetos del catálogo (que alcanzó la cifra de 102 objetos), y éstos se citan a veces con este número y una «M» (de Messier) prefijada al mismo.

Como es de esperar, Messier incluyó la nebulosa de Andrómeda en su catálogo. Está en el lugar treinta y uno, por lo que se denomina a veces M31.

La nebulosa de Andrómeda intrigaba a los astrónomos.

La nebulosidad más familiar del cielo era, evidentemente, la Vía Láctea, y Galileo había demostrado que estaba compuesta por estrellas de muy poco brillo, que sin telescopio se fundían formando una neblina luminosa.

En el hemisferio austral pueden verse dos manchas nebulosas que parecen fragmentos separados de la Vía Láctea. Los europeos las observaron por primera vez en 1519, durante la expedición de Fernando de Magallanes (1480-1521), que siguió la costa de Sudamérica hasta su extremo más meridional en el transcurso de su pionera circunnavegación del globo. Las manchas se llaman por este motivo «Nubes de Magallanes», y también, vistas con el telescopio, resultaron ser masas de estrellas débiles.

La nebulosa de Andrómeda, por contra, aunque tenía el mismo aspecto de la Vía Láctea y de las Nubes de Magallanes, no podía resolverse en estrellas con los telescopios del siglo XVIII (ni tampoco con los del siglo XIX). ¿Por que?

El primero en expresar una idea útil sobre el tema fue el filósofo alemán Immanuel Kant (1724-1804). En 1755 argumentó que la nebulosa de Andrómeda y manchas semejantes de niebla cósmica estaban compuestas en realidad por estrellas, pero que estaban muy lejos, mucho más lejos que la Vía Láctea o que las Nubes de Magallanes, por lo que ni siquiera los mejores telescopios de que disponían los astrónomos podían separar la niebla en forma de estrellas. Calificó a las nebulosas de «universos islas».

Kant tenía razón en esto, toda la razón, pero no consiguió influir en el mundo de la astronomía. Estaba demasiado avanzado a su tiempo. Los astrónomos del siglo XVIII no habían determinado todavía la distancia de ninguna estrella, pero se estaba imponiendo la idea de que estaban muy lejos. El astrónomo inglés Edmund Halley (1656-1742) se había referido por primera vez a las distancias estelares utilizando lo que ahora llamamos «años luz».

Los astrónomos habían estado viviendo durante toda la historia en un universo pequeño. Se había visualizado el universo como algo cuyo tamaño apenas permitía contener lo que ahora llamamos sistema solar, y este sistema solar se consideraba mucho más pequeño de lo que ahora sabemos. Extender el horizonte a los años luz ya era bastante duro, pero cuando Kant se refirió a distancias todavía mayores, tan grandes que los telescopios no podían distinguir estrellas individuales, se pasó de la raya. Los astrónomos se estremecieron y le dieron la espalda.

Menos visionaria, y por lo tanto más aceptable, fue una segunda opinión: la del astrónomo francés Pierre-Simon de Laplace (1749-1827). Laplace propuso en 1798 que el sistema solar era en sus orígenes una gran nube en rotación de gas y de polvo que se condensó lentamente de modo que el centro de la nube se convirtió en el Sol y la periferia en los planetas. (Kant había formulado una propuesta semejante en el mismo libro en que habló de los universos islas, pero Laplace entró en más detalles).

Laplace pensó que podía fortalecer su argumento señalando un ejemplo de una estrella y de un sistema planetario en proceso de formación, y la nebulosa de Andrómeda parecía hecha a medida para ello. Ahí estaba la explicación de su brillo. Una estrella empezaba a brillar en su centro e iluminaba la vasta nube de polvo y de gas que todavía la envolvía y la ocultaba. Los telescopios no podían resolver esta nube en estrellas separadas porque no estaba formada por estrellas separadas. Era una única estrella, que todavía no estaba formada plenamente.

La idea de Laplace, que se basaba en el ejemplo de la nebulosa de Andrómeda, se llamó la «hipótesis nebular».

Así pues, si Laplace estaba en lo cierto, la nebulosa de Andrómeda no estaba situada a una distancia increíble de nosotros, como exigía el concepto de Kant, sino que debía de estar bastante próxima, puesto que de otro modo un objeto con el pequeño tamaño de un sistema planetario no parecería tan grande.

Durante el siglo XIX la nebulosa de Andrómeda fue perdiendo su carácter insólito. A medida que se exploró el firmamento con telescopios cada vez mejores, resultó que había un número bastante grande de nebulosas que eran luminosas, pero que no parecían contener una estrella ni siquiera después de un estudio a fondo.

El astrónomo irlandés William Parsons, tercer barón de Rosse (1800-1867), prestó una atención especial a estas nebulosas y en 1845 observó que algunas tenían estructuras claramente espirales, casi como si fueran diminutos remolinos de luz. El ejemplo más espectacular era uno de

los objetos de la lista de Messier: M51. Todo el mundo podía ver que parecía un molinete, y pronto se la llamó «nebulosa Remolino». Los astrónomos empezaron a referirse a «nebulosas espirales» como una clase no muy rara de objetos celestes.

A medida que avanzaba el siglo XIX, pudieron empezarse a fotografiar las nebulosas con largas exposiciones, de modo que se captaban más detalles que con la simple observación visual.

En 1880, un astrónomo aficionado galés, Isaac Roberts (1829-1904), tomó un gran número de fotografías de este tipo. En 1888 pudo demostrar que la nebulosa de Andrómeda tenía una estructura espiral. Esto no había podido observarse antes porque la nebulosa de Andrómeda se ve mucho más de canto que la nebulosa Remolino.

Roberts señaló que si sucesivas fotografías de nebulosas tomadas a lo largo de algunos años mostraban cambios indicativos de que estaban girando a una velocidad medible, estas nebulosas tenían que estar próximas. En objetos tan lejanos como los universos islas de Kant deberían pasar millones de años para que pudieran observarse cambios medibles. En 1899, Roberts afirmó haber observado cambios rotacionales en sus múltiples fotografías de la nebulosa de Andrómeda.

También en 1899 se tomó por primera vez el espectro de la nebulosa de Andrómeda y se vio que poseía todas las características de la luz estelar, lo que podía indicar que había una estrella desarrollándose en su interior.

Las afirmaciones en el sentido de que la nebulosa de Andrómeda estaba girando de modo visible y el hecho de que su espectro fuera de tipo estelar parecían haber decidido ya la cuestión. En 1909, el astrónomo inglés William Huggins (1824-1910) afirmó que ya no había duda de que la nebulosa de Andrómeda era un sistema planetario en una fase avanzada de desarrollo.

Pero quedaba un pequeño punto por resolver, y éste era el tema de S Andromedae. Volveremos a este tema en el siguiente capítulo.

13. Superexplosiones Estelares

La semana pasada mi querida esposa Janet me llevó a una vieja mansión de origen colonial situada en el mismo centro de Manhattan. No me hubiera imaginado que pudiera sobrevivir en la isla una reliquia de este tipo, pero así era.

Pagamos una pequeña cantidad (que bien valía la pena) firmamos en el libro de visitantes, y una mujer muy agradable nos guió por la casa.

Cuando ya habíamos acabado se nos acercó una mujer con actitud insegura. Llevaba una edición de bolsillo de mis tres primeras novelas sobre la Fundación. (Me basta ver de lejos uno de mis libros, en cualquier edición, para reconocerlo).

—¿El doctor Asimov? —me preguntó.

—Yo mismo, señora —contesté.

—Mi hijo es un gran admirador suyo y cuando vi su nombre en el libro de visitantes le telefoneé y le dije que usted estaba en esta casa, pero que no podía reconocerle de modo seguro. El me preguntó: «¿Hay alguna persona con grandes patillas blancas?» Le dije: «Sí, la hay». El concluyó: «Es el doctor Asimov», y me trajo estos libros.

De modo que los firmé.

Siempre digo que yo tengo tres marcas de fábrica: mis vistosas corbatas, mis gafas de montura oscura y mis blancas patillas. Sin embargo, cualquier persona puede llevar corbatas vistosas y gafas con montura oscura. Lo que me delata realmente son mis patillas canosas, porque pocas personas tienen interés en llevar estos adornos faciales. Por suerte soy una persona natural y extrovertida y no me importa que me reconozcan, o sea que no tengo intención de afeitármelas.

Resulta que cuando sucedió esto ya sabía que iba a escribir este ensayo, porque debía concluir el tema que había estado exponiendo en los dos capítulos anteriores, y se me ocurrió que iba a hablar de una estrella que en cierto sentido delató a la nebulosa de Andrómeda, del mismo modo que mis patillas me delataron a mí. Dejen que me explique...

Señalé en el capítulo anterior que a principios del siglo XX hubo una controversia en relación con la nebulosa de Andrómeda. Había quien opinaba que se trataba de un conjunto vasto y muy distante de estrellas invisibles individualmente, situadas mucho más allá de nuestra galaxia.

En tal caso, la nebulosa de Andrómeda era sin duda uno de los muchos objetos semejantes existentes y el universo era por lo tanto un lugar mucho más enorme de lo que solían imaginar los astrónomos a principios del siglo XX.

Otros pensaban que nuestra galaxia (más las Nubes de Magallanes) formaba casi todo el universo, y que la nebulosa de Andrómeda y todos los demás cuerpos parecidos eran nubes relativamente pequeñas y próximas de polvo y de gas, situadas dentro de nuestra galaxia. Algunos pensaban incluso que estas nebulosas representaban sistemas planetarios individuales en proceso de desarrollo.

En la discusión entre los partidarios de la Andrómeda lejana y los de la Andrómeda próxima, parecía que estos últimos habían ganado la partida sin esfuerzo. La clave que lo demostraba eran fotografías de la nebulosa de Andrómeda tomadas a lo largo de los años que parecían mostrar el objeto girando con una velocidad medible. Si la nebulosa estuviera lejos de nuestra galaxia, cualquier movimiento suyo debería ser inconmensurablemente pequeño, por lo tanto el hecho de

captar una rotación medible demostraba que el objeto estaba próximo.

Esto dejaba un problema por decidir. Como ya expliqué en el ensayo anterior, apareció en agosto de 1885 una estrella en la nebulosa de Andrómeda que se denominó «S Andromedae». Puesto que apareció donde antes no se había visto ninguna estrella, y puesto que al cabo de unos meses su brillo disminuyó tanto que ya no pudo verse, se trataba de una nova. Sin embargo era la nova menos brillante que se hubiera descubierto nunca, porque incluso en su momento de mayor brillo apenas había alcanzado el límite de la visibilidad a simple vista. Muy probablemente no se hubiera descubierto nunca si no hubiese aparecido en medio de la niebla indistinta de la nebulosa de Andrómeda.

En aquella época nadie le prestó mucha atención, pero a medida que la controversia sobre la nebulosa de Andrómeda subió de tono, S Andromedae ocupó el centro del escenario. Si la nova estaba realmente localizada dentro de la nebulosa, no era probable que ésta fuera una simple nube de polvo y de gas. Era más probablemente un cúmulo de estrellas muy poco brillantes, una de cuyas estrellas había explotado y había alcanzado tal brillo que pudo distinguirse con un telescopio. Este sería un buen argumento en favor de la Andrómeda lejana.

El problema con este argumento era que no había manera de demostrar que S Andromedae formaba parte realmente de la nebulosa de Andrómeda. Podía ser una estrella situada desde siempre en la dirección de la nebulosa pero mucho más próxima a nosotros que ella. Puesto que no vemos el cielo en tres dimensiones, una S Andromedae situada en la dirección de la nebulosa de Andrómeda parecerá que forme parte de la nebulosa, aunque en realidad no sea así.

Pero si la nebulosa de Andrómeda está relativamente cerca de nosotros y S Andromedae estaba más cerca todavía, ¿por qué brillaba tan poco?

¿Y por qué no? Hay muchas estrellas próximas que tienen poco brillo. La estrella de Barnard está a sólo seis años luz de nosotros (Alpha Centauri es el único sistema más próximo todavía) y sin embargo la estrella de Barnard sólo puede verse con un telescopio.

Una de las estrellas del mismo sistema de Alpha Centauri, Alpha Centauri C, o «Próxima Centauri» (descubierta en 1913), es la estrella conocida más cercana a nosotros, y sin embargo es demasiado oscura para verse a simple vista.

Hay una gran cantidad de estrellas poco brillantes, y S Andromedae podría muy bien ser una de ellas y no ser muy brillante, ni siquiera cuando se convirtió en nova, con lo cual los partidarios de una Andrómeda cercana continuaban teniendo razón.

Pero entonces llegó 1901, cuando, como ya dije en el capítulo anterior, Nova Persei destelló brillantemente, la nova más brillante en tres siglos. Los telescopios mostraron una nube de gas y de polvo alrededor de la estrella (el resultado de su explosión) y pareció observarse un círculo de iluminación que se expandía con el tiempo. Los astrónomos pensaron que este círculo era la luz que salía de la estrella y que iluminaba el polvo a una distancia cada vez mayor. La velocidad real de la luz era bien conocida, y a partir de la velocidad aparente con que la luz se expandía hacia el exterior pudo estimarse fácilmente la distancia de la nova. Nova Persei resultó estar a unos cien años luz de distancia.

Esta distancia no es muy grande: es sólo veinticinco veces la distancia a la estrella más próxima. No es de extrañar que Nova Persei apareciera tan brillante.

¿Podía ser que todas las novas al explotar alcanzasen siempre la misma luminosidad? Todas ellas tendrían idéntico brillo aparente si estuviesen situadas a la misma distancia, pero puesto que sus distancias variaban muchísimo, las que estuviesen situadas más cerca resultarían más brillantes.

En tal caso, si S Andromedae alcanzaba la misma luminosidad en su máximo que Nova Persei, y si su poco brillo cabía atribuirlo solamente a su mayor distancia, esta distancia podía calcularse. Luego si S Andromedae no formaba parte realmente de la nebulosa de Andrómeda, esto significaba que la nebulosa tenía que estar todavía más lejos, quizá mucho más lejos.

Quienes defendían una Andrómeda lejana se animaron un poco, pero no mucho. Al fin y al cabo este argumento descansaba sobre una base muy frágil. ¿Qué justificación había para suponer que todas las novas alcanzaban aproximadamente la misma luminosidad? No había motivos de peso

para suponerlo. Era igualmente razonable suponer que las estrellas poco brillantes originaban novas poco brillantes y que S Andromedae era una estrella muy brillante.

Podía estar más cerca que Nova Persei y sin embargo ser mucho menos brillante en su fase de nova.

El partido de la Andrómeda cercana parecía que continuaba minando.

Un astrónomo estadounidense era decididamente partidario de la Andrómeda lejana y se negó a aceptar este último argumento.

Era Heber Doust Curtis (1872-1942). Curtis inició su carrera académica estudiando lenguas y convirtiéndose en profesor de latín y de griego. Sin embargo, la universidad donde enseñaba tenía un telescopio y Curtis empezó a interesarse por él, y luego por la astronomía, que no había estudiado nunca en la escuela. En 1898 cambió de carrera y se convirtió en astrónomo, obteniendo luego el doctorado en esta materia en 1902.

En 1910 lo pusieron a trabajar en fotografía nebular y, como es lógico, también se introdujo en la controversia sobre si las nebulosas eran objetos distantes situados más allá de la galaxia o eran objetos próximos.

Uno de los argumentos que apoyaban la idea de que las nebulosas formaban parte de nuestra galaxia era el siguiente: si las nebulosas estaban fuera de la galaxia deberían estar distribuidas uniformemente por todo el cielo, puesto que no había motivo para que prefirieran una dirección a otra. Sin embargo se había comprobado que el número de nebulosas aumentaba a medida que la búsqueda se alejaba de la dirección de la Vía Láctea. Esto, según se afirmaba, demostraba que las nebulosas formaban parte probablemente de la galaxia porque los objetos de dentro de la galaxia podían no formarse cerca de la Vía Láctea por algún motivo u otro, mientras que los objetos situados fuera de nuestra galaxia no tenían por qué estar influidos, en un sentido u otro, por algún rasgo interior a ella.

Sin embargo, al fotografiar las distintas nebulosas, Curtis observó que muchas de ellas poseían nubes oscuras y opacas situadas en la periferia de sus masas y aplanadas a menudo en forma de torta.

Curtis pensó que el borde exterior de nuestra galaxia (trazado por la Vía Láctea) podía tener también nubes oscuras y opacas, y de hecho algunas de estas masas podían verse dentro de la Vía Láctea. Curtis afirmó, pues, que las nebulosas estaban realmente distribuidas con uniformidad por todo el cielo, pero que las nubes oscuras cercanas a la Vía Láctea ocultaban muchas de ellas, con lo que parecía que había más nebulosas lejos de la Vía Láctea que cerca de ella.

De ser esto cierto, el argumento que situaba las nebulosas dentro de nuestra galaxia se iba por los suelos y las ideas de Curtis sobre la lejanía de Andrómeda quedaban fortalecidas.

Curtis continuó razonando de este modo: la nebulosa de Andrómeda era la mayor de las nebulosas y la más brillante (junto con las Nubes de Magallanes que estaban situadas fuera mismo de nuestra galaxia, y que por así decirlo eran satélites suyos). Aparte de las Nubes de Magallanes, la nebulosa de Andrómeda era la única visible a simple vista. Esto significaba probablemente que era la nebulosa más próxima después de las Nubes de Magallanes y podía proporcionar a los astrónomos observadores detalles importantes.

Así pues, si la nebulosa de Andrómeda era un conjunto muy distante de estrellas, tan distante que las estrellas componentes no podían verse de modo individual, estas estrellas se aproximarían más a la visibilidad individual que las estrellas de cualquier otra nebulosa. Se deducía de ello que si una de las estrellas de la nebulosa de Andrómeda aumentaba de brillo por convertirse en una nova, podía resultar visible, y esto explicaría el fenómeno de S Andromedae. Esto podía no cumplirse con nebulosas más lejanas donde las estrellas individuales tendrían tan poco brillo que ni siquiera las novas resultarían visibles.

Curtis empezó en 1917 una serie cuidadosa y persistente de observaciones de la nebulosa de Andrómeda para ver si podía descubrir más novas, y lo consiguió. Descubrió que había en ella estrellas que aparecían y desaparecían, docenas de estrellas. No había duda de que se trataba de estrellas, pero su brillo era increíblemente débil. Apenas podían distinguirse con el telescopio. Esto

era de esperar si la nebulosa de Andrómeda estaba realmente muy lejos.

¿Podía ser, sin embargo, que Curtis estuviera viendo simplemente novas muy débiles en la dirección de la nebulosa de Andrómeda y que ninguna de ellas estuviera en realidad dentro de ella? En tal caso, la nebulosa podía continuar siendo una simple nube de polvo y de gas.

En opinión de Curtis, esto era totalmente imposible. En ninguna otra región del cielo podía observarse una acumulación tal de novas muy débiles concentradas en una superficie pequeña equivalente a la que cubría la nebulosa de Andrómeda. De hecho había más novas observadas en la dirección de la nebulosa que en todo el resto del cielo junto. No había ningún motivo que explicara este hecho si Andrómeda era una simple nube de polvo y de gas, sin nada notable en ella.

La única explicación lógica era que las novas estaban en la nebulosa de Andrómeda y que el gran número de ellas era un simple reflejo del número mucho mayor de estrellas normales que había allí. Dicho con otras palabras, la nebulosa de Andrómeda era una galaxia como la nuestra, y en tal caso tenía que estar muy lejos. Por lo tanto esta gran distancia explicaría el brillo extraordinariamente débil de las novas.

Curtis se convirtió en el principal portavoz astronómico de la idea de una Andrómeda lejana.

Pero ¿qué podía decirse sobre la observación básica que apoyaba la idea de una Andrómeda cercana?: el hecho de que, según las observaciones, la nebulosa de Andrómeda giraba. Esto se basaba en observaciones del siglo XIX que podían ser cuestionables, pero a principios del siglo XX las observaciones fueron confirmadas.

En la misma época aproximadamente en que Curtis estaba descubriendo novas en la nebulosa de Andrómeda, el astrónomo holandés-estadounidense Adriaan Van Maanen (1884-1946) estaba observando cuidadosamente las nebulosas y comprobando su rotación aparente. Este astrónomo trabajaba con instrumentos mejores y realizaba observaciones mejores que las de sus predecesores, y dijo que había detectado de modo seguro una velocidad medible de rotación en la nebulosa de Andrómeda y también en otras nebulosas.

Esto significaba, en definitiva, que si Curtis había descubierto realmente novas de poco brillo en la nebulosa de Andrómeda, era imposible que Van Maanen hubiese captado una pequeñísima velocidad de rotación de la nebulosa. Y si Van Maanen había captado realmente una rotación de la nebulosa, era imposible que Curtis hubiese descubierto numerosas novas débiles en ella. Las dos observaciones se excluían mutuamente: ¿cuál merecía crédito?

No podía tomarse una decisión tajante. Tanto Curtis como Van Maanen estaban observando algo que estaba cerca de los mismos límites de la observación. En ambos casos, un error muy ligero del instrumento o de la capacidad de juicio del observador podía echar por los suelos la observación. Esto era más cierto todavía si se tiene en cuenta que ambos astrónomos estaban descubriendo algo que tenían muchas ganas de descubrir y que estaban seguros de que descubrirían. Incluso el científico más honrado y escrupuloso podía sentirse impulsado a observar algo inexistente e imposible de observar, si estaba motivado emocionalmente para hacerlo. Por lo tanto, aunque sólo uno de ellos podía tener razón, parecía imposible decidir quién era.

Uno de los astrónomos estadounidenses más importantes de la época era Harlow Shapley (1885-1972). Fue Shapley quien calculó las auténticas dimensiones de nuestra galaxia (en realidad había exagerado algo estas dimensiones) y quien demostró que nuestro Sol no estaba en el centro de ella, sino en la periferia.

Es posible que Shapley, en su papel de ampliador de la galaxia, no tuviera mucho aprecio por la idea de que el universo contenía muchas más galaxias, lo que reducía de nuevo su importancia. Sin embargo, es difícil aducir motivaciones psicológicas, y probablemente es injusto. Shapley tenía también motivos objetivos para favorecer la idea de una Andrómeda próxima.

Shapley era amigo íntimo y antiguo de Van Maanen, y un admirador de su labor astronómica. Era, pues, muy natural que Shapley aceptara las observaciones de Van Maanen sobre la rotación de la nebulosa de Andrómeda. Lo mismo hizo la mayor parte de la comunidad astronómica, y Curtis se vio en minoría.

El 26 de abril de 1920, Curtis y Shapley celebraron un debate de gran difusión sobre el tema

ante una sala atiborrada de público de la Academia Nacional de Ciencias.

Puesto que Shapley era mucho más conocido que Curtis, los astrónomos asistentes esperaban que el primero no tendría dificultad en imponer su punto de vista.

Sin embargo, Curtis resultó un conferenciante de inesperado poder de convicción, y sus novas, el escaso brillo de ellas y su número demostraron ser un argumento de un poder sorprendente.

Desde el punto de vista objetivo, el debate debería haberse considerado un empate, pero el hecho de que Curtis no se hubiera hundido, sino que hubiese obligado al campeón a hacer tablas, constituyó una asombrosa victoria moral. A consecuencia de ello se impuso lentamente la idea de que Curtis había ganado el debate.

De hecho, Curtis consiguió que un cierto número de astrónomos se apuntaran a la idea de una Andrómeda lejana; pero los temas científicos no se deciden con una victoria en un debate. Ni las observaciones de Curtis ni las de Van Maanen eran lo bastante decisivas para dar por finalizada la controversia. Se necesitaba algo más: datos inéditos y mejores.

La persona que los proporcionó fue el astrónomo estadounidense Edwin Powell Hubble (1889-1953). Hubble tenía a su disposición un nuevo telescopio gigante con un espejo de 2,54 metros de diámetro: el de mayor alcance de todos los existentes en el mundo hasta entonces. Se estrenó en 1919, y en 1922 Hubble lo comenzó a utilizar para tomar fotografías de larga exposición de la nebulosa de Andrómeda.

El 5 de octubre de 1923, Hubble descubrió, en una de estas fotografías, una estrella situada en el borde de la nebulosa de Andrómeda. No era una nova. La fue siguiendo día a día y resultó ser una estrella del tipo «variable cefeida». Hacia finales de 1924, Hubble había encontrado en la nebulosa treinta y seis estrellas variables muy tenues, doce de ellas cefeidas. Descubrió también sesenta y tres novas, muy parecidas a las que Curtis había captado anteriormente, con la diferencia de que Hubble, gracias al nuevo telescopio, podía verlas de modo más claro e inequívoco.

Hubble dedujo, tal como había hecho Curtis, que todas esas estrellas descubiertas en la dirección de la nebulosa de Andrómeda no podían estar situadas en el espacio intermedio entre ella y nosotros. Tenían que estar dentro de la nebulosa, y por lo tanto ésta tenía que ser una aglomeración de estrellas.

Los descubrimientos de Hubble superaron los de Curtis en un aspecto decisivo. Las cefeidas variables pueden utilizarse para determinar distancias (una técnica que Shapley había empleado con gran eficacia para medir las dimensiones de nuestra galaxia). Y ahora Hubble utilizaba esa misma técnica para derribar la postura de Shapley respecto a la nebulosa de Andrómeda, porque, según las cefeidas que él había detectado, la nebulosa de Andrómeda estaba a unos 750.000 años luz de distancia. (En 1942, el astrónomo alemán-estadounidense Walter Baade (1893-1960) perfeccionó la técnica de medición con cefeidas y demostró que la distancia correcta de la nebulosa de Andrómeda es de unos 2,3 millones de años luz). Con esto, quienes creían en una Andrómeda lejana cantaron victoria. Las observaciones de Van Maanen habían sido erróneas por algún motivo (quizá por fallos instrumentales) y nadie ha observado desde entonces rotaciones medibles en la nebulosa de Andrómeda. A partir de la época de Hubble la nebulosa ha recibido el nombre de galaxia de Andrómeda, y las demás «nebulosas extragalácticas» también han empezado a llamarse galaxias.

Quedaba un problema. Como ustedes recordarán, S Andromedae había planteado el insistente interrogante que había mantenido intrigados a los astrónomos sobre la naturaleza de la nebulosa de Andrómeda. Aquella nova había puesto en duda que la nebulosa fuese un objeto próximo.

Sin embargo, una vez resuelto este asunto y cuando los astrónomos hablaban ya de la galaxia de Andrómeda, S Andromedae planteó un enigma en la otra dirección. Antes, los astrónomos se extrañaban de su poco brillo; ahora se extrañaban de su gran brillo. Todo el centenar largo de novas observadas en la galaxia de Andrómeda tenían un brillo muy débil. S Andromedae era millones de veces más brillante que ellas; era tan brillante que casi podía distinguirse a simple vista. ¿A qué se debía eso?

Había de nuevo dos posibilidades. Una posibilidad era que S Andromedae hubiera explotado

realmente en la galaxia de Andrómeda y que fuera millones de veces más luminosa que las novas comunes. Esa idea parecía tan poco razonable que casi ningún astrónomo la hubiera aceptado. (No obstante, Hubble la aceptó, y en aquel momento su prestigio estaba por las nubes). La segunda posibilidad parecía más probable: S Andromedae no formaba parte de la galaxia de Andrómeda pero, por una coincidencia no imposible, se hallaba en la misma dirección que aquel cuerpo. Si estuviera solamente a una milésima de la distancia de la galaxia de Andrómeda, parecería millones de veces más brillante que las débiles novas que formaban parte de aquella galaxia. La mayoría de los astrónomos optaron por esta opinión.

Sin embargo, no se puede zanjar una discusión de este tipo con el voto de la mayoría. También esta vez se necesitaban datos inéditos y mejores, en un sentido o en otro.

Un astrónomo suizo, Fritz Zwicky (1898-1974), consideró el problema. Supongamos que S Andromedae forma parte de la galaxia de Andrómeda y que ha resplandecido con una gran luminosidad, con un brillo varios millones de veces mayor que el de cualquier nova común. Supongamos, dicho de otro modo, que S Andromedae no es solamente una estrella en explosión, sino una estrella en superexplosión, o una «supernova» (para emplear el término que el propio Zwicky introdujo). De ser así, tendríamos una supernova notable en la galaxia de Andrómeda y muchas novas comunes. Eso tiene sentido, puesto que cualquier cosa de una grandeza extrema será necesariamente mucho menos frecuente que las cosas relativamente comunes.

De poco serviría, por lo tanto, esperar que apareciera otra supernova en la galaxia de Andrómeda, o en cualquier otra galaxia. Podría tardarse decenios, o siglos, en localizar una nueva supernova.

Pero había millones de galaxias distantes, tan alejadas de nosotros que sería totalmente imposible captar en ellas novas comunes. En cambio, si aparecieran en ellas supernovas, podrían verse. S Andromedae había brillado con una intensidad equivalente a una gran parte de toda la luz del resto de la galaxia de Andrómeda (suponiendo que S Andromedae formara realmente parte de aquella galaxia). Si otras supernovas eran como S Andromedae, también brillarían con la luz concentrada de una galaxia entera, y no importaría lo lejos que pudiera estar su galaxia. Si la galaxia estaba lo bastante cerca para verse, también se vería cualquier supernova de su interior.

Cada galaxia podía tener una supernova muy de vez en cuando, pero cada año aparecerían supernovas en una u otra galaxia. Por lo tanto los astrónomos debían observar el mayor número posible de galaxias y esperar hasta que en una de ellas (en cualquiera de ellas) apareciera una estrella tan brillante como ella misma, invisible antes.

En 1934, Zwicky inició una búsqueda sistemática de supernovas. Se centró en un gran cúmulo de galaxias en la constelación de Virgo y las observó todas. Hacia 1938 había localizado no menos de doce supernovas, cada una en una galaxia distinta del cúmulo. Cada supernova, en su momento máximo, era casi tan brillante como la galaxia de la que formaba parte, y cada una de ellas debía de brillar (en su momento máximo) con una luminosidad miles de millones de veces superior a la de nuestro Sol.

¿Podía esta observación ser engañosa? Cabía la posibilidad de que Zwicky hubiera localizado casualmente doce novas comunes situadas mucho más cerca que las galaxias a las que aparentemente pertenecían, y que en realidad estuvieran situadas casualmente en la misma dirección que esas galaxias.

No, no era posible. Las doce galaxias ocupaban regiones muy pequeñas del cielo y localizar doce novas situadas precisamente cada una de ellas en la misma dirección que sus galaxias hubiera sido demasiada coincidencia. Era mucho más razonable aceptar el concepto de supernovas.

Además, Zwicky y otros descubrieron más supernovas en años sucesivos. Actualmente se han detectado en diversas galaxias más de cuatrocientas supernovas.

¿Es posible, pues, que algunas de las novas observadas en nuestra propia galaxia fueran supernovas?

Sí, en efecto. No es probable que una nova común esté tan próxima a nosotros que brille con una luz mayor que la de los planetas. Sin embargo, una supernova podría tener fácilmente tal brillo,

aunque estuviera muy lejos.

Por lo tanto, las novas muy brillantes que describí en el capítulo 11 debieron de ser supernovas. Eso incluye la nova de 1054, la nova de Tycho de 1572 y la nova de Kepler de 1604.

La supernova de 1604 fue la más reciente que haya podido verse en nuestra galaxia. Desde la invención del telescopio óptico, del espectroscopio, de la cámara fotográfica, del radiotelescopio y de los cohetes, no hemos podido ver ninguna supernova más en nuestra galaxia. (Tal vez haya habido alguna supernova en el otro lado de la galaxia, oculta detrás de las nubes opacas que hay entre nosotros y el centro galáctico).

De hecho, desde 1604, la supernova más cercana que hemos visto fue S Andromedae. Esto sucedió hace un siglo y la estrella estaba a 2,3 millones de años luz de distancia.

Ninguna persona cuerda desearía que una supernova entrara en erupción demasiado cerca de la Tierra, pero estaríamos a salvo si entrara en erupción, por ejemplo, a 2.000 años luz de distancia. En tal caso los astrónomos tendrían la posibilidad de estudiar la explosión de una supernova con extraordinaria precisión, y esto, desde luego, los encantaría.

Los astrónomos están esperando, pues, que suceda algo así; pero es lo único que pueden hacer: esperar. Y rechinar de dientes, supongo.

(Nota. Menos de un mes después de haber escrito este ensayo apareció una supernova, no en nuestra galaxia, sino en nuestra vecina más cercana, la Gran Nube de Magallanes. Los astrónomos no cabían en sí de alegría por tener una supernova situada a sólo 150.000 años luz de distancia).

14. El Elemento Medio Sin Salida

Anoche estaba sentado ante mi piano y tecleaba melodías a una mano. Hasta el decenio de 1950 no pude disponer de un piano, pero incluso después de tanto tiempo recordaba perfectamente lo que me habían enseñado en el cuarto grado: el pentagrama, las notas y los sostenidos y bemoles. A partir de esto, cuando tuve un piano tecleé las notas de melodías conocidas (tengo buen oído) y las comparé con la notación musical. De este modo aprendí gradualmente yo solo a leer música, de un modo muy primitivo.

Así pues, ayer por la noche, mientras me oía a mí mismo tocar Mi vieja casa de Kentucky*,* La vieja familia *y otras baladas simples sin tener ante mí la partitura, suspiré y dije a mi querida esposa Janet:*

—Qué lástima que no tuviera un piano cuando era niño y tenía tiempo de jugar con él. Probablemente lo hubiera aporreado hasta conseguir tocar unos acordes y sacar de oído alguna música aceptable. Seguramente alguien me habría ayudado en los trozos difíciles, y cuando hubiese llegado a adulto tocaría bien el piano, lo suficiente para entretenerme, aunque no lo hiciera bien en un sentido absoluto.

Janet (que aprendió piano de pequeña y que puede tocarlo bien, lo bastante para entretenerse con él) estuvo de acuerdo conmigo, como siempre.

Pero luego busqué el aspecto agradable de la cosa, porque me molesta inspirarme lástima, y dije:

—De todos modos, hubiese perdido mucho tiempo con el piano y habría desaprovechado una parte considerable de mi vida.

Janet entendió esto muy bien, porque sabe desde hace tiempo que considero perdidas todas las horas que no dedico a escribir (aparte del tiempo que paso con ella, si no es excesivo).

He recuperado, pues, el tiempo que perdí al piano anoche escribiendo sobre él, y ahora, para no perder más tiempo, continuaré escribiendo, aunque sea sobre otra cosa.

Todos sabemos que es posible obtener energía de los núcleos atómicos si los fragmentamos en trozos más pequeños (fisión nuclear) o si los aplastamos juntos para que formen trozos mayores (fusión nuclear).

Alguien podría pensar en la posibilidad de conseguir cantidades infinitas de energía procediendo alternadamente a fragmentar los núcleos y a apretarlos y juntarlos de nuevo una y otra vez. Por desgracia, una naturaleza malévola ha previsto este plan y ha promulgado leyes termodinámicas contra él.

Los núcleos de gran masa pueden desde luego fragmentarse para producir energía, pero los productos de fisión no pueden fusionarse de nuevo para formar los núcleos originales sin antes reinsertar por lo menos la misma energía producida en la fisión.

También los núcleos ligeros pueden fusionarse para producir energía, pero los productos de fusión no pueden luego fisionarse de nuevo para reconstituir los núcleos originales sin antes reintroducir por lo menos la misma energía producida en la fusión.

Si consideramos los cambios espontáneos que se producen en el universo, veremos que los núcleos pesados tienden a fisionarse y los ligeros a fusionarse. En cada caso, el cambio es en un único sentido.

Los núcleos pesados liberan energía a medida que pierden masa. Los núcleos ligeros liberan energía a medida que aumentan de masa. En ambos casos se producen núcleos que contienen menos energía que los originales: y en cada caso esto significa que las partículas que constituyen los núcleos resultantes tienen menos masa, en promedio, que las partículas que constituían los núcleos originales.

Si continuamos pasando de núcleos pesados a núcleos menos pesados y de núcleos ligeros a núcleos más pesados, deberemos encontrarnos con un núcleo, situado en alguna posición intermedia, que contenga un mínimo de energía, y una masa media mínima por partícula. Este núcleo intermedio no podrá liberar más energía convirtiéndose en un núcleo menor o en un núcleo mayor. No podrá experimentar ningún cambio espontáneo más en su núcleo.

Este elemento medio sin salida es el núcleo del hierro-56, que está compuesto por 26 protones y 30 neutrones. Éste es el núcleo hacia el cual tienden todos los cambios nucleares.

Probemos algunas cifras...

La única partícula presente en el núcleo de hidrógeno-1 tiene una masa de 1,00797. Las doce partículas del núcleo de carbono-12 tienen una masa media de 1,00000 (éste es el promedio que define la unidad de masa nuclear). Las dieciséis partículas del núcleo de oxígeno-16 tienen una masa media de 0,99968. Y las cincuenta y seis partículas del núcleo de hierro-56 tienen una masa media de 0,99884.

(Se trata de diferencias pequeñas de masa, pero una pérdida de masa, por pequeña que sea, equivale a una ganancia relativamente enorme de energía). Si partimos del otro extremo, las 238 partículas del núcleo de uranio-238 tienen una masa media de 1,00021. Las 197 partículas del núcleo de oro-197 tienen una masa media de 0,99983. Vemos pues que desde ambas direcciones los núcleos van bajando hasta el hierro-56, que es el elemento de menor masa por partícula nuclear, y que por lo tanto contiene la menor cantidad de energía y es el más estable.

En nuestro universo, los cambios nucleares predominantes tienen el carácter de fusiones. Después de los primeros momentos de la gran explosión primordial, el universo estaba formado por hidrógeno, helio (con núcleos muy pequeños) y nada más. La entera historia del universo durante todos los quince mil millones de años transcurridos desde aquella explosión ha consistido en la fusión de estos núcleos pequeños para formar núcleos mayores.

En este proceso se forma una cantidad importante de núcleos atómicos más pesados, algunos con mayor abundancia que otros (según sean las velocidades de las distintas reacciones de fusión), incluida una cantidad de hierro bastante superior a la de otros elementos de masa nuclear semejante. Se cree por ello que el núcleo de la Tierra está formado en su mayor parte por hierro; y lo mismo podría decirse de los núcleos de Venus y de Mercurio. Muchos meteoritos contienen un 90% de hierro. Todo esto se explica porque el hierro es el elemento medio sin salida.

Es cierto que también se han formado núcleos de elementos más pesados que el hierro, porque estos elementos existen. Hay circunstancias en las que las fusiones nucleares, desde el hidrógeno hasta el hierro, tienen lugar a una velocidad tan enormemente explosiva que parte de la energía no tiene tiempo de escapar y de hecho es absorbida por los átomos de hierro, que de este modo son impulsados, por así decirlo, hacia lo alto de la escala de energías, hacia núcleos de tanta masa como el uranio, o incluso más lejos.

Estos núcleos más pesados aparecen únicamente como microelementos en el conjunto del universo. De hecho, durante los quince mil millones de años de historia del universo, sólo una proporción muy pequeña de la materia original de éste se ha fusionado formando núcleos de hierro o de masa inferior. El 90% de los núcleos que constituyen el universo continúa siendo hidrógeno y el 9% helio. Todos los demás núcleos, formados por fusión, constituyen el 1% del total, o menos.

¿A qué se debe esto? Se debe a que los procesos de fusión no tienen lugar de un modo fácil. Para que dos núcleos se fusionen deben chocar con una fuerza considerable, pero los núcleos están protegidos en una situación normal por capas de electrones. Aunque desaparezcan los electrones, los núcleos desnudos están siempre cargados positivamente y tienden a repelerse entre sí.

Para que pueda tener lugar el proceso de fusión es preciso, pues, que una masa de hidrógeno

esté sometida a grandes presiones y elevadas temperaturas, condiciones que sólo se alcanzan en el centro de las estrellas.

Hay que aplicar energías enormes a los átomos de hidrógeno para eliminar primero los electrones y luego aplastar entre sí los núcleos desnudos (protones individuales), a pesar de la fuerza de repulsión de sus cargas iguales.

¿Cómo podemos decir que la fusión es un «cambio espontáneo» si se necesita tanta energía para que tenga lugar?

Esta energía es una «energía de activación», algo que sirve para iniciar el proceso. Una vez se ha iniciado el proceso de fusión, la energía liberada es suficiente para que continúe el proceso, aunque la mayor parte de ella se emite al exterior. De este modo la fusión produce una energía muy superior a la pequeña cantidad necesaria para iniciarla, y en su conjunto la fusión es una reacción espontánea que produce energía.

Si esto nos parece confuso, pensemos en un fósforo de fricción. Si lo dejamos a la temperatura ambiente no dará nunca energía. Sin embargo, basta frotarlo contra una superficie áspera para que el calor de fricción eleve tanto su temperatura que la punta química del fósforo entre en ignición. El calor del fuego elevará a continuación la temperatura de los materiales de su alrededor hasta que éstos empiecen a quemar. Esto puede continuar indefinidamente, de modo que, una vez encendido, un fósforo puede iniciar un incendio forestal que destruya muchas hectáreas.

Incluso en el centro de una estrella, el proceso de fusión tiene lugar de modo relativamente suave y lento. Nuestro Sol ha estado fusionando en su núcleo desde hace casi cinco mil millones de años sin muchos cambios externos, y continuará haciéndolo por lo menos durante cinco mil millones de años más.

Mientras nuestro Sol continúa fusionando hidrógeno para formar helio, decimos que está en la «secuencia principal». Esta situación se prolonga mucho tiempo, porque la fusión de hidrógeno en helio produce una gran cantidad de energía.

Durante los miles de millones de años de permanencia en la secuencia principal, se acumula cada vez más helio en el núcleo del Sol, y su masa aumenta lentamente. El campo gravitatorio que se acumula en el núcleo se hace cada vez más intenso y se comprime cada vez más, elevándose su temperatura y su presión hasta que al final estas cantidades son tan altas que pueden proporcionar la energía de activación necesaria para provocar la fusión de los núcleos atómicos de helio y su transformación en núcleos más pesados todavía.

Cuando se inicia la fusión del helio, el resto del proceso de fusión es relativamente corto, porque todos los procesos de fusión situados más allá del helio producen sólo una quinta parte de la energía que producía la fusión inicial del hidrógeno en helio. Además, al fusionarse el helio, la estrella empieza a cambiar radicalmente de aspecto y se dice que «abandona la secuencia principal». Debido a una serie de motivos, la estrella se expande mucho y, a causa de la expansión, su superficie (pero no su núcleo) se enfría y se enrojece. La estrella se convierte en una «gigante roja», y su vida posterior, como objeto que experimenta fusión, es breve.

Una estrella cuya masa sea aproximadamente la de nuestro Sol verá frenados sus procesos de fusión cuando su núcleo esté formado principalmente por núcleos atómicos de carbono, oxígeno y neón. Para que estos núcleos atómicos puedan continuar fusionándose hay que alcanzar una temperatura y una presión que la intensidad gravitatoria de la estrella y su núcleo no pueden producir.

La estrella no puede producir ya suficiente energía de fusión para mantenerla expandida y resistir el irrevocable impulso hacia dentro de su propia gravedad, con lo cual empieza a contraerse. La contracción eleva la presión y la temperatura en las regiones exteriores de la estrella, que todavía están compuestas principalmente por hidrógeno y helio. Estas regiones sufren una fusión rápida y son proyectadas hacia fuera por la explosión, formando un vapor incandescente. Sin embargo, la mayor parte de la estrella sufre un colapso y se convierte en una enana blanca compuesta casi enteramente por carbono, oxígeno y neón, sin hidrógeno ni helio.

Las enanas blancas son objetos estables. No experimentan fusión, sino que van perdiendo

lentamente la energía que tienen, de modo que se enfrían y pierden su brillo muy lentamente hasta que al final dejan de radiar luz visible y se convierten en «enanas negras». Este proceso es tan lento que pudiera ser que en toda la historia del universo ninguna enana blanca haya tenido tiempo todavía de enfriarse del todo y convertirse en una enana negra.

Pero ¿qué sucede si una estrella es bastante mayor que nuestro Sol, si su masa es tres o cuatro veces superior, o incluso veinte o treinta veces superior? Cuanta más masa tiene una estrella, más intenso es su campo gravitatorio y más apretadamente puede comprimir su núcleo. La temperatura y la presión del núcleo estelar pueden subir mucho más de lo que es posible en nuestro Sol. El carbono, el oxígeno y el neón pueden fusionarse y formar silicio, azufre, argón y todos los elementos hasta el hierro.

Pero al llegar al hierro el proceso se detiene repentinamente, porque el hierro no puede experimentar espontáneamente ni fusión ni fisión. La producción de energía del núcleo estelar se detiene y la estrella inicia un colapso. El colapso es mucho más rápido bajo el impulso gravitatorio de una estrella gigante que bajo el de una estrella corriente, y la cantidad de hidrógeno y de helio que todavía existe es mucho mayor en la gigante. Se produce una explosión de la mayor parte del hidrógeno y del helio en un tiempo relativamente breve, y durante unos días o unas semanas la estrella brilla con una luminosidad mil millones de veces superior a la de una estrella corriente.

Llamamos a este resultado «supernova».

La enorme explosión de una supernova envía núcleos atómicos de todos los tamaños al espacio interestelar. Algunos de estos núcleos tienen más masa incluso que el hierro, porque se liberó suficiente energía para impulsar algún núcleo de hierro cuesta arriba.

Una supernova esparce grandes cantidades de núcleos atómicos de gran masa por las nubes interestelares, que al principio estaban formadas únicamente por hidrógeno y helio. Una estrella formada por nubes que contienen estos núcleos atómicos pesados (por ejemplo, nuestro Sol) los incorpora en su estructura. Los núcleos pesados acaban incorporándose también en los planetas de estas estrellas, y en las formas vivas que se desarrollan en estos planetas.

Por su parte, el núcleo estelar de la supernova en explosión, que contiene la mayor parte del hierro y los demás núcleos atómicos pesados, se encoge para formar una diminuta estrella de neutrones o un agujero negro más pequeño todavía. Por lo tanto, la mayor parte de los núcleos atómicos pesados se quedan en su lugar y no escapan nunca al espacio interestelar. Podríamos preguntarnos si estas supernovas explican la presencia de la cantidad de núcleos pesados observados generalmente en el universo.

Sin embargo, el tipo de supernova que he descrito no es el único posible.

Durante el último medio siglo se han estudiado unas cuatrocientas supernovas. (Todas pertenecían a otras galaxias, porque en nuestra galaxia no se ha detectado ninguna supernova desde 1604, para lamentación de los astrónomos). Estas supernovas pueden dividirse en dos clases, que se denominan tipo I y tipo II.

El tipo I tiende a ser más luminoso que el tipo II. Si una supernova de tipo II puede alcanzar una luminosidad mil millones de veces superior a la de nuestro Sol, una supernova de tipo I puede ser hasta dos mil quinientos millones de veces más luminosa que nuestro Sol.

Si ésta fuera la única diferencia, deberíamos suponer que las estrellas especialmente grandes explotarían para formar una supernova de tipo I, mientras que las estrellas algo menores explotarían para formar una supernova de tipo II. Esto parece tan evidente que podríamos renunciar a investigar más el tema.

Sin embargo, hay otras diferencias que contradicen esta conclusión.

Por ejemplo, las supernovas menos brillantes de tipo II se dan casi siempre en los brazos de las galaxias espirales. Es precisamente en estos brazos donde se encuentran grandes concentraciones de gas y de polvo y donde, por lo tanto, se encuentran estrellas grandes y de gran masa.

Sin embargo, las supernovas más brillantes, de tipo I, aunque a veces aparecen en los brazos de galaxias espirales, pueden encontrarse también en las regiones centrales de estas galaxias, así como en galaxias elípticas, donde hay poco polvo y gas. En estas regiones sin gas y sin polvo

generalmente sólo se forman estrellas de tamaño moderado. Por lo tanto, a juzgar por la localización, parecería que las supernovas de tipo II se forman a partir de la explosión de estrellas gigantes, mientras que las supernovas de tipo I se forman a partir de la explosión de estrellas más pequeñas.

Una tercera diferencia es que las supernovas de tipo I una vez han pasado por el máximo pierden brillo de modo muy regular, mientras que las supernovas de tipo II se van desvaneciendo con gran irregularidad. También en este caso esperaríamos que una estrella más pequeña se comportara con mayor decoro que una estrella mayor. Cabría esperar que la explosión más gigantesca de una estrella mayor tendría una historia más caótica, con subexplosiones sucesivas.

Tanto el hecho de la localización como el proceso de la pérdida de brillo hacen esperar que las supernovas de tipo I provengan de estrellas más pequeñas que las supernovas de tipo II. Pero, en tal caso, ¿por qué son las supernovas de tipo I hasta 2,5 veces más luminosas que las supernovas de tipo II?

Otro punto a considerar. Las estrellas más pequeñas son siempre más corrientes que las estrellas más grandes.

Por lo tanto cabría esperar que si las supernovas de tipo I proceden de estrellas más pequeñas, serán más corrientes que las supernovas de tipo II: quizá diez veces más corrientes. ¡Pues no es así! Los dos tipos de supernova son aproximadamente igual de corrientes.

Una posible solución a este problema reside en los espectros de los dos tipos de supernova, que dan resultados muy diferentes. Las supernovas de tipo II tienen espectros con líneas de hidrógeno pronunciadas. Esto es lo que puede esperarse de una estrella gigante. Aunque su núcleo esté atiborrado de hierro, sus regiones exteriores son ricas en hidrógeno, cuya fusión proporciona la energía que mantiene la estrella inundada de luz.

Sin embargo, la supernova de tipo I ofrece un espectro que no contiene líneas de hidrógeno. Sólo aparecen elementos como el carbono, el oxígeno y el neón. ¡Pero ésta es precisamente la composición de las enanas blancas!

¿Puede ser una supernova de tipo I una enana blanca en explosión? En tal caso, ¿por qué hay tan pocas supernovas de tipo I? ¿Podría ser que sólo una minoría de las enanas blancas explotara, de modo que las supernovas de tipo I resultaran al final no más numerosas que las supernovas de tipo II? ¿Por qué explota sólo una minoría de ellas? ¿Y por qué tienen que explotar? ¿No he dicho antes, en este ensayo, que las enanas blancas son muy estables y pierden su brillo lentamente a lo largo de muchos miles de millones de años, sin sufrir más cambios?

La solución a estas preguntas vino de un estudio de las novas. (No supernovas, sino novas corrientes que entran en erupción con una luminosidad que es sólo cien mil a ciento cincuenta mil veces superior a la del Sol). Estas novas son mucho más corrientes que las supernovas, y no pueden constituir explosiones importantes de una estrella. Si lo fueran serían gigantes rojas antes de la explosión, serían mucho más brillantes en el máximo de la explosión, y después se desvanecerían del todo. En cambio, parece ser que algunas novas son estrellas corrientes de la secuencia principal antes y después de experimentar un aumento moderado en su brillo, sin que experimenten cambios aparentes a consecuencia de su aventura. De hecho, una estrella determinada puede convertirse una y otra vez en nova.

No obstante, en 1954 el astrónomo estadounidense Merle F. Walker observó una cierta estrella, llamada después DQ Herculis, que había pasado por una fase de nova en 1934 y que era en realidad un estrella binaria próxima.

Estaba formada por dos estrellas tan próximas una a otra que casi se tocaban.

Se llevaron a cabo todos los esfuerzos posibles para estudiar separadamente cada estrella del par. La más brillante de las dos era una estrella de la secuencia principal, pero la menos brillante era una enana blanca. Cuando se hubo comprobado este extremo, se descubrió que algunas estrellas que habían pasado también por la fase de nova en algún momento de su historia eran también binarias próximas y en cada caso resultó que un componente del par de estrellas era una enana blanca.

Los astrónomos llegaron rápidamente a la conclusión de que la estrella que se transformaba en

nova era la enana blanca del par. La estrella de la secuencia principal era la que se observaba normalmente y no experimentaba cambios importantes, lo que explicaba que la nova pareciera ser la misma antes y después de aumentar de brillo. La enana blanca del par no se observa normalmente, con lo que no se captaba la particular importancia que tenía la nova.

Esto cambió. A partir de entonces los astrónomos llegaron rápidamente a la siguiente conclusión sobre el proceso:

Empezamos con dos estrellas de la secuencia principal que constituyen un par binario próximo. Cuanta más masa tiene una estrella, más rápidamente gasta el hidrógeno de su núcleo, con lo que la estrella de mayor masa del par es la primera que se expande y se convierte en una gigante roja. Parte de su materia en expansión se pierde en su compañera de menor masa, que está todavía en la secuencia principal, y su vida, a consecuencia de ello, resulta abreviada. Al final, la gigante roja entra en colapso y se transforma en una enana blanca.

Al cabo de un tiempo, la estrella restante de la secuencia principal, cuya vida ha sido abreviada, empieza a hincharse y a convertirse en una gigante roja y su tamaño llega a ser tan grande que parte de su masa se transfiere a la periferia de la enana blanca. Cuando el disco de acreción se ha llenado con una cantidad suficiente de gas, se hunde y se derrama sobre la superficie de la enana blanca.

La masa que cae sobre la superficie de una enana blanca se comporta de modo diferente a la que cae sobre la superficie de una estrella corriente. La intensidad de la gravedad en la superficie de la enana blanca es miles de veces superior a la intensidad de la gravedad en la superficie de una estrella normal. La materia que recoge una estrella normal se añade sin problemas a la masa de la estrella; en cambio, la materia que recoge una enana blanca sufre una compresión, debido a la intensidad de la gravedad superficial, y se fusiona.

Cuando el disco de acreción se hunde, se produce una erupción repentina de luz y de energía y el sistema binario brilla unas mil veces más de lo normal. Como es natural, esto puede suceder una y otra vez, y cada vez que pasa, la enana blanca se convierte en una nova y también gana masa.

Sin embargo, una enana blanca sólo puede tener una masa igual a 1,44 veces la masa del Sol. Demostró este hecho el astrónomo Subrahmanyan Chandrasekhar, nacido en la India en 1932, y esta masa se llama «límite de Chandrasekhar». (Chandrasekhar obtuvo con mucho retraso el premio Nobel de física por este descubrimiento en 1983). La resistencia de los electrones acaba impidiendo que la enana blanca continúe encogiéndose más. Sin embargo, cuando la enana blanca supera el límite de Chandrasekhar, la intensidad gravitatoria se hace tan grande que la resistencia de los electrones falla y empieza una nueva contracción.

La enana blanca se encoge con una velocidad catastrófica; en el proceso, todos los núcleos atómicos de carbono, de oxígeno y de neón que la forman se fusionan y la energía generada despedaza completamente la estrella, dejando tras de sí únicamente restos gaseosos y polvorientos.

Por este motivo una supernova de tipo I, que proviene de una estrella de menor masa, es más luminosa que una supernova de tipo II, que proviene de una estrella de mayor masa. La explosión de la enana blanca es total y no parcial, y es mucho más rápida que la de una estrella gigante.

El motivo de que la supernova de tipo I no sea más corriente es que no todas las enanas blancas explotan. Las enanas blancas que son estrellas solas o que están lejos de sus estrellas acompañantes (como la enana blanca Sirio B, situada lejos de su compañera de la secuencia principal, Sirio A) tienen pocas posibilidades o ninguna de ganar masa. Sólo las enanas blancas que son miembros de binarias próximas pueden ganar suficiente masa para superar el límite de Chandrasekhar.

De este modo se explican muchas de las diferencias en las características de los dos tipos de supernova, pero hay una diferencia que todavía intriga. ¿Por qué pierden su brillo las supernovas de tipo I con tanta regularidad, mientras que las supernovas de tipo II lo hacen irregularmente?

En junio de 1983 una supernova de tipo I entró en erupción en la galaxia M83, relativamente próxima a nosotros; fue especialmente brillante, y en 1984 un astrónomo llamado James R. Graham captó rastros débiles de hierro en los restos de esta supernova. Este fue el primer indicio de que la

fusión dentro de una supernova de tipo I recorrió todo el camino hasta llegar al hierro.

Graham pensó que una supernova de tipo I podía no hacerse visible. Si se fusionaba hasta llegar al hierro, se expandiría hasta alcanzar un tamaño centenares o millares de veces superior al diámetro original con tanta rapidez que su sustancia se enfriaría en el proceso y emitiría muy poca luz. Sin embargo la fusión tuvo lugar, se captó la presencia de hierro y a pesar de esto la luminosidad fue intensa.

Graham pensó que había otra fuente de energía y de luz, más lenta, aparte de la simple fusión. Propuso que la materia de la enana blanca no se fusionó dando hierro-56 (con un núcleo atómico formado por 26 protones y 30 neutrones), sino dando cobalto-56 (con un núcleo atómico que contiene 27 protones y 29 neutrones).

La masa media de las 56 partículas en el hierro-56, como ya he dicho en este artículo, es 0,99884; en cambio, la de las 56 partículas del cobalto-56 es 0,99977. La ligera cantidad de energía adicional en el cobalto-56 es tan pequeña y la pendiente del cobalto-56 al hierro-56 tan suave que la fusión pueda detenerse en el cobalto-56.

Sin embargo, las leyes de la termodinámica no pueden conculcarse del todo. El cobalto-56 se forma, pero no puede conservarse. Es un núcleo radiactivo y cada uno de estos núcleos acaba emitiendo un positrón y un rayo gamma.

La pérdida de un positrón convierte un protón en un neutrón, de modo que cada núcleo de cobalto-56 se convierte en otro núcleo con un protón menos y con un neutrón más, en definitiva en un núcleo de hierro-56. Este cambio radiactivo de todo el cobalto-56 contenido en una estrella es lo que proporciona la energía necesaria para producir la luminosidad que observamos en una supernova de tipo I.

¿Hay algún dato que apoye esta propuesta? Sí: la fusión general de los núcleos atómicos, subiendo desde el oxígeno hasta llegar al cobalto, puede transcurrir en sólo unos segundos, pero la desintegración del cobalto-56 en hierro-56 es mucho más gradual, porque el cobalto-56 tiene una semivida de 77 días. Si la desintegración radiactiva del cobalto-56 es lo que alimenta la luminosidad de una supernova de tipo I, esta luminosidad debería disminuir de modo muy regular, como sucede con la radiactividad. Y al parecer una supernova de tipo I pierde su brillo regularmente con una semivida cercana a 77 días, lo que hace sospechar mucho la intervención del cobalto-56.

Se deduce de ello que si bien ambos tipos de supernova inyectan núcleos atómicos pesados en la materia interestelar, los núcleos más pesados, como el hierro y otros más pesados todavía, se conservan generalmente en las encogidas estrellas de neutrones y en los agujeros negros producidos por las supernovas de tipo II, pero son esparcidos, junto con todo lo demás, por las explosiones totales de las supernovas de tipo I.

Se deduce, pues, que la mayor parte del hierro que acabó llegando al núcleo de la Tierra y a las rocas de su superficie, y también al interior de nuestra sangre, estuvo en otra época en enanas blancas que explotaron.

15. Partículas Opuestas

Nota. Puede parecer que el presente capítulo no pertenece a esta sección, pero es el preludio necesario al siguiente capítulo, que sí pertenece a ella.

Pasé los últimos días en Filadelfia asistiendo a las sesiones de la reunión anual de la Asociación Estadounidense para el Progreso de la Ciencia, principalmente porque estaba participando en un simposio sobre viajes interestelares, y porque me gusta, de vez en cuando, ponerme la gorra de científico.

En el transcurso de aquellos días me entrevistaron cuatro veces; en una de ellas, el entrevistador preguntó:

—Pero ¿qué es la antimateria?

Afortunadamente formuló la pregunta a un compañero entrevistado, por lo que dejé a él el trabajo de explicarse y me ocupé en recordar con cierto humor la primera vez que tuve noticia de la antimateria. Fue en una revista de ciencia-ficción, por supuesto.

En el número de abril de 1937 de Astounding Science Fiction*, John D. Clark publicó una historia titulada* «Planeta Menos»*, en la cual un objeto hecho de antimateria había llegado casualmente al sistema solar y estaba amenazando nuestro planeta. Fue mi primer encuentro con el concepto.*

En el número de agosto de 1937 de la misma revista había un artículo teórico de R. D. Swisher titulado «¿Qué son los positrones?», y de nuevo aprendí algo sobre la antimateria.

Más tarde, en 1939, cuando empecé a escribir historias de robots, doté a mis robots de «cerebros positrónicos», una variación atractiva y muy de ciencia-ficción de la idea menos brillante e inspiradora de los «cerebros electrónicos».

Pero ¿cuándo empezó realmente a conocerse algo sobre la antimateria? Para saberlo volvamos a 1928.

En 1928 el físico inglés Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984) estaba estudiando el electrón, una de las dos únicas partículas subatómicas conocidas en aquella época, junto con el protón.

Para ello, Dirac utilizó la mecánica ondulatoria relativista, cuya parte matemática había sido elaborada por el físico austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961) hacía sólo dos años. En este estudio, Dirac descubrió que la energía propia de un electrón en movimiento podía ser positiva o negativa. La cifra positiva representaba evidentemente el electrón ordinario, pero, en tal caso, ¿qué representaba la cifra negativa (igual en todo, excepto en el signo)?

La solución más fácil era suponer que el signo negativo correspondía a un artificio matemático sin ningún significado físico, pero Dirac prefirió encontrarle un sentido, si podía:[1]

Supongamos que el universo está formado por un mar de niveles de energía, con todos los niveles negativos llenos de electrones. Encima de este mar hay un número grande pero finito de electrones distribuidos entre los niveles positivos de energía.

Si, por algún motivo, un electrón del mar adquiere suficiente energía, sale disparado del mar

1 Dirac era hijo de un maestro de escuela inmigrado, procedente de la parte francófona de Suiza. De ahí su nombre.

para ocupar uno de los niveles de energía positiva y se convierte entonces en el tipo de electrón común a que se han acostumbrado los científicos. En el mar, sin embargo, la salida del electrón deja un «agujero» y este agujero se comporta como una partícula con propiedades opuestas a las del electrón.

Puesto que el electrón tiene una carga eléctrica, esa carga negativa tiene que haberse retirado del mar y el agujero consiguiente debe presentar una carga de naturaleza opuesta. El electrón, según una convención que se remonta a Benjamin Franklin, tiene una carga eléctrica negativa, por lo tanto el agujero debe comportarse como si tuviera una carga eléctrica positiva.

Entonces, si la energía se convierte en un electrón, la producción de un electrón debe siempre acarrear la producción simultánea de un agujero, o «antielectrón». (El agujero es lo contrario de un electrón, y el prefijo «anti» procede de la palabra griega que significa «contrario»).

Dirac estaba prediciendo de este modo la «producción por pares», la producción simultánea de un electrón y de un antielectrón, y parecía bastante claro que no se podía producir el uno sin el otro.

Sin embargo, en nuestra región del universo existe un gran número de electrones, pero no hay ningún indicio de la existencia de un número equivalente de antielectrones.

Si aceptamos este hecho sin entrar en demasiados detalles, veremos que cuando se produce otro electrón junto con su agujero acompañante, uno u otro de los muchos electrones existentes va a caer en ese agujero, y lo hace en muy poco tiempo.

Dirac predijo, pues, que un antielectrón es un objeto de muy corta vida, lo que explicaría que en aquella época nadie pareciera haber encontrado ninguno. Y, lo que es más, Dirac vio que no es posible deshacerse de un antielectrón sin deshacerse al mismo tiempo de un electrón, y viceversa. Dicho de otro modo, es un caso de «mutua aniquilación».

En la mutua aniquilación, las partículas deben emitir, una vez más, la energía que consumieron en la producción por pares. La mutua aniquilación, por tanto, tiene que ir acompañada por la producción de radiación de gran energía o de otras partículas que se desplacen a grandes velocidades y que posean una elevada energía cinética, o ambas cosas.

En la época en que Dirac desarrolló esta idea había sólo dos partículas conocidas, el electrón cargado negativamente y el protón cargado positivamente, por lo que el físico se preguntó en primer lugar si el protón no sería, por casualidad, el antielectrón.

Era evidente, sin embargo, que no podía serlo. En primer lugar, el protón tiene 1836 veces más masa que el electrón, y no parece muy probable que expulsando a un electrón del mar con nivel de energía negativa se produzca un agujero de masa 1836 veces superior a la de la partícula extraída. Parecía lógico suponer que las propiedades del agujero fueran de carácter opuesto a las de la partícula extraída, pero debían ser iguales en cantidad.

Puesto que la carga eléctrica del electrón es negativa, la carga eléctrica del antielectrón debe ser positiva; pero la carga negativa de uno y la carga positiva del otro deben tener exactamente la misma magnitud. En esto, por lo menos, el protón cumple los requisitos. Su carga positiva es precisamente igual a la carga negativa del electrón.

Esto debería cumplirse también con la masa. El antielectrón podía tener el mismo tipo de masa que el electrón, o quizá una «antimasa» contraria, pero en cualquier caso la masa o la antimasa debían ser precisamente iguales a la del electrón. El protón tenía el mismo tipo de masa que el electrón, pero era muy diferente en cuanto a la cantidad.

Además, según el razonamiento de Dirac, un electrón debía tener una vida muy corta y debía aniquilarse de modo mutuo y casi simultáneo con cualquier electrón que se encontrara. Un protón, sin embargo, parecía ser completamente estable y no mostraba tendencia alguna a aniquilarse mutuamente con los electrones.

Dirac, por lo tanto, llegó a la conclusión de que el antielectrón no era el protón, sino que era una partícula con la masa de un electrón y carga positiva.

De todos modos, nadie había encontrado nunca un electrón cargado positivamente, de modo que la mayoría de físicos consideraron que las sugerencias de Dirac eran interesantes pero

insustanciales. Podían ser las simples especulaciones de un teórico que atribuía un significado demasiado literal a las relaciones matemáticas. Por lo tanto, hasta que no se realizaron observaciones apropiadas, las ideas de Dirac tuvieron que catalogarse bajo el título de «Interesantes, pero...».

Mientras Dirac desarrollaba su teoría, se había desencadenado entre los físicos una lucha homérica sobre la naturaleza de los rayos cósmicos. Algunos físicos –el más importante de los cuales era el estadounidense Robert Andrews Millikan (1868-1953)–, aseguraban que los rayos cósmicos eran un tren de ondas electromagnéticas, con más energía incluso y, por lo tanto, de más corta longitud de onda que los rayos gamma. Otros físicos, el más importante de los cuales era el estadounidense Arthur Holly Compton (1892-1962), decían que eran un flujo de partículas de gran masa, veloces y cargadas eléctricamente. (No voy a prolongar el misterio. Compton obtuvo una victoria total e incondicional). En el transcurso de la batalla, uno de los estudiantes de Millikan, Carl David Anderson (1905), estaba estudiando la interacción de los rayos cósmicos con la atmósfera.

Los rayos cósmicos de gran energía chocaban con los núcleos de átomos de la atmósfera y producían una lluvia de partículas subatómicas, de energía no muy inferior a la de los rayos cósmicos originales. Parecía posible, a partir de las partículas producidas, deducir la naturaleza de la entidad causante del fenómeno y decidir si era una radiación o una partícula.

Anderson utilizó para ello una cámara de niebla rodeada por un campo magnético muy intenso. Las partículas, al pasar a través de la cámara de niebla que contenía gases supersaturados con vapor de agua, producían fragmentos atómicos cargados (o «iones») que actuaban de núcleos para la formación de pequeñas gotas de agua.

Además, las partículas detectadas de este modo estaban cargadas eléctricamente, por lo que sus trayectorias (y las líneas de gotitas) se curvaban en presencia de un campo magnético. La trayectoria de una partícula con una carga eléctrica positiva se curvaría en una dirección; la trayectoria de una partícula con una carga eléctrica negativa se curvaría en la otra dirección. Cuanto más rápida fuera la partícula y mayor masa tuviera, menos se curvaría.

El problema era que las partículas producidas por rayos cósmicos al chocar con los núcleos tenían tanta masa o eran tan veloces (o ambas cosas) que apenas se curvaban.

Anderson se dio cuenta de que muy poco o nada podía deducir de sus trayectorias.

Tuvo entonces la ingeniosa idea de poner una plancha de plomo, de aproximadamente seis milímetros de espesor, en el centro de la cámara de niebla. Las partículas que chocaran con ella tendrían energía más que suficiente para atravesarla. Sin embargo, al hacerlo gastarían una parte importante de su energía y saldrían moviéndose más despacio. Luego se curvarían más y algo podría deducirse.

En agosto de 1932, Anderson estaba estudiando varias fotografías tomadas en cámaras de niebla, y una de ellas le sorprendió de modo especial. Presentaba una trayectoria curva con el mismo aspecto exactamente que las trayectorias curvas de los electrones a gran velocidad.

La trayectoria estaba más curvada en un lado de la plancha de plomo que en el otro. Esto significaba que el rayo había entrado en la cámara por el lado de menor curvatura. El rayo había atravesado la plancha de plomo, que había disminuido su velocidad, con lo que estaba más curvado por aquel lado. Pero si hubiera avanzado en aquella dirección un electrón, se habría curvado en la otra dirección. Al ver esta curva Anderson comprendió enseguida que había detectado un electrón de carga positiva, es decir, un antielectrón.

Como es natural, se encontraron rápidamente otros ejemplos y quedó claro, tal como había predicho Dirac, que el antielectrón no duraba mucho. Al cabo de una mil millonésima de segundo, más o menos, encontraba un electrón y se producía la mutua aniquilación, dando lugar a dos rayos gamma emitidos en direcciones opuestas.

Dirac recibió muy pronto el premio Nobel de física, en 1933, y Anderson lo obtuvo en 1936.

Hay algo en este descubrimiento que no me gusta. La nueva partícula debería haberse llamado antielectrón, como la he llamado hasta ahora, pues ese nombre la describe exactamente como «el

electrón opuesto». Sin embargo, Anderson la consideró un electrón positivo. Tomó las cinco primeras letras y las tres últimas letras de la expresión (en inglés) y las fundió formando «positrón». Y éste ha continuado siendo su nombre desde entonces.

Por supuesto, si el antielectrón se llama positrón, el propio electrón debería llamarse «negatrón». Por otra parte, tampoco es «-rón» el sufijo característico de las partículas subatómicas, sino el «-ón», de protón, mesón, gluón, leptón, muón, pión, fotón, gravitón, etc. Si insistimos en poner un nombre al antielectrón, entonces debería ser «positón».

De hecho, en 1947, hubo un intento para utilizar ese nombre y llamar al electrón «negatón», pero fracasó estrepitosamente.

Desde entonces han mantenido «electrón» y «positrón», y los dos son ahora intercambiables. Pero la ciencia también está llena de nombres tercos impuestos por científicos que actuaron por impulso. (Murray Gell-Mann inventó el feo término de «quark» para las partículas fundamentales que componen los protones. Lo sacó de Finnegans Wake, pero eso no lo hace menos feo. Quizá no sabía que en alemán quark significa «basura» o «desperdicios»).

Cuando se tiene un antielectrón es imposible detenerlo.

El análisis matemático de Dirac sirve exactamente igual para los protones, por ejemplo, que para los electrones. Por lo tanto, si hay un antielectrón, deberá haber también un «antiprotón».

No obstante, durante los dos decenios que siguieron al descubrimiento del antielectrón no apareció el antiprotón por ninguna parte. ¿A qué se debía eso?

No es ningún misterio. La masa es una forma de energía muy condensada, y se requiere una gran cantidad de energía para producir incluso una pequeña cantidad de masa. Si queremos producir diez veces más masa, debemos invertir en ello diez veces más energía. La cantidad de energía requerida resulta enseguida prohibitiva.

Puesto que el protón tiene 1836 veces más masa que un electrón, se necesita para producir un antiprotón una energía (concentrada toda ella en esta especie de pequeño volumen ocupado por una partícula subatómica) 1836 veces superior a la que se necesita para producir un antielectrón.

Es evidente que los rayos cósmicos son corrientes de partículas de gran masa en rápido movimiento que poseen una amplia gama de energías. Algunas de las partículas más veloces, y por lo tanto de mayor energía, tienen energía suficiente y de sobras para formar pares de protón y antiprotón. Por ese motivo se emplearon años en estudiar con mucho cuidado los rayos cósmicos mediante una variedad de detectores de partículas, por si acaso aparecía un antiprotón. (¿Por qué no? Si se detectaba uno, el premio Nobel estaba garantizado). Un problema era que al ascender por la escala de energías, el número de partículas de rayos cósmicos con la correspondiente energía disminuía. El porcentaje de partículas de rayos cósmicos que poseía la energía suficiente para formar un par protón-antiprotón era sólo una pequeña fracción del total. Esto significaba que dentro de la mezcla abundante y compleja de partículas producidas por el bombardeo de rayos cósmicos, cualquier antiprotón formado, queda oculto totalmente por multitud de otras partículas.

De vez en cuando, alguien creía haber captado un antiprotón y lo comunicaba, pero las pruebas no eran nunca inequívocas. Podían haber aparecido antiprotones, aunque nadie estaba seguro de ello.

Lo que se necesitaba era una fuente de energía creada por el hombre, que pudiera controlarse y refinarse a fin de aumentar las posibilidades de producir y detectar antiprotones: es decir, un acelerador de partículas, un acelerador más potente que los construidos en los decenios de 1930 y 1940.

Finalmente, en 1954 se construyó un acelerador de partículas que produciría las energías necesarias. Fue el Bevatrón, construido en Berkeley, California. En 1955, el físico italo-estadounidense Emilio Segrè (1905) y su colega estadounidense Owen Chamberlain (1920) elaboraron un proyecto para llevar a cabo la tarea.

El plan consistía en bombardear un blanco de cobre con protones de energía muy elevada. Se obtendrían así pares protón-antiprotón, y también muchas partículas subatómicas más. Todas las partículas producidas pasarían luego por un campo magnético intenso. Los protones y otras

partículas de carga positiva se curvarían en una dirección. Los antiprotones y otras partículas de carga negativa se curvarían en la otra dirección.

Se calculó que los antiprotones se desplazarían a una determinada velocidad y con una cierta curvatura. Todas las demás partículas de carga negativa se desplazarían más lentamente, o más rápidamente, y con una curvatura distinta. Si se situaba un aparato de detección en algún lugar adecuado de modo que actuara únicamente en un intervalo de tiempo muy breve, posterior a la colisión de los protones con el cobre, se captarían antiprotones y sólo antiprotones. De este modo pudieron captarse torrentes de antiprotones.

Es evidente que los antiprotones producidos no podían durar mucho y que chocarían con los numerosos protones que existen en todo el universo que nos rodea. Segrè y Chamberlain proyectaron contra un trozo de cristal la corriente de supuestos antiprotones captados. En este cristal tuvieron lugar innumerables aniquilaciones mutuas entre los antiprotones de la corriente y los protones del cristal. Estas aniquilaciones produjeron partículas que podían desplazarse por el cristal a mayor velocidad que la luz. (Sólo en el vacío es imposible superar la velocidad de la luz).

La radiación emitida de este modo se correspondió de modo preciso con la que produciría la aniquilación de protones con antiprotones.

Así pues, tanto la detección directa de antiprotones como el estudio de la radiación producida por la aniquilación demostraban claramente que se habían captado antiprotones. Gracias a esto, Segrè y Chamberlain compartieron el premio Nobel de física de 1959.

En aquella época se habían descubierto ya muchas partículas subatómicas, además del electrón y del protón. Una vez descubierto el antiprotón fue fácil suponer que habría una partícula opuesta por cada partícula nueva.

Los resultados lo confirmaron. Cada partícula conocida con carga eléctrica tiene una partícula correspondiente de carga opuesta a la suya. Hay «antimuones», «antipiones», «antihiperones», «antiquarks», etc. El nombre de cada una de estas partículas opuestas se forma prefijando «anti» al nombre de la partícula. La única excepción es el antielectrón, una excepción solitaria. Continúa llamándose positrón, lo cual sin duda molesta a quienes, como yo, dan mucho valor al orden y al método en la nomenclatura.

Todos los objetos «anti» pueden incluirse en el grupo de las «antipartículas».

Pero ¿qué podemos decir de las partículas que carecen de carga?

En 1932, el físico inglés James Chadwick (1891-1974) descubrió el «neutrón», que es algo más pesado que el protón, y que se diferencia de esta partícula por ser eléctricamente neutro. (Chadwick recibió a consecuencia de ello el premio Nobel de física de 1935). Se comprobó que el neutrón es el tercer componente básico de los átomos y de la materia corriente en general.

El isótopo más corriente del hidrógeno, el hidrógeno-1, tiene un único protón en su núcleo, pero todos los demás átomos tienen núcleos formados por protones y neutrones, y estos núcleos van acompañados por uno o más electrones en la periferia de los átomos.

No se ha descubierto nunca, ni se espera descubrir, ningún otro componente importante de los átomos. La materia normal está formada por protones, neutrones y electrones, y nada más. Todas las demás partículas subatómicas (y hay muchas) son manifestaciones inestables y de alta energía, o bien, si su vida es larga, existen independientemente y no como parte de la materia.

¿Qué podemos decir ahora del neutrón? Un electrón tiene una carga negativa mientras que un antielectrón tiene una carga positiva. Un protón está cargado positivamente mientras que un antiprotón está cargado negativamente.

Sin embargo, el neutrón es neutro. Carece de carga. ¿Qué es lo opuesto a la falta de carga?

A pesar de ello, los físicos no podían dejar de pensar en la posible existencia de un antineutrón, aunque ésta no dependiera de la carga eléctrica.

Se razonó que si un protón y un antiprotón pasaban rozando uno al lado de otro sin acabar de chocar, era posible que evitaran la aniquilación mutua, pero quizá conseguirían neutralizar sus respectivas cargas eléctricas. Esto dejaría dos partículas neutras que podían continuar siendo de

algún modo opuestas entre sí; dicho con otras palabras, serían un neutrón y un antineutrón.

Además, al formarse un neutrón y un antineutrón, el antineutrón debería chocar muy pronto con un neutrón y aniquilarse mutuamente con él, produciendo partículas de algún modo característico.

En 1956 se descubrió ciertamente el antineutrón, y en 1958 se comprobó su reacción de aniquilación. Sin embargo, en aquel entonces las antipartículas eran algo tan normal que el descubrimiento del antineutrón no ganó para nadie un premio Nobel. ¿En qué se diferencia el antineutrón del neutrón? En primer lugar, si bien el neutrón carece de una carga eléctrica general, posee una característica llamada «espín», que genera un campo magnético. El antineutrón tiene un espín en dirección opuesta y por lo tanto un campo magnético que está orientado en la dirección opuesta a la del neutrón.

Los físicos consiguieron en 1965 reunir un antiprotón y un antineutrón y juntarlos. En la materia corriente, un protón y un neutrón juntos constituyen el núcleo de un átomo de hidrógeno-2, o «deuterio». Lo que se había formado era, pues, un núcleo de «antideuterio».

Es evidente que un núcleo de antideuterio, con una carga negativa, podría retener fácilmente un antielectrón de carga positiva. De este modo se formaría un «antiátomo». Podrían formarse teóricamente antiátomos de mayor tamaño. Lo difícil sería obligar a juntarse a todos los antiprotones y antineutrones e impedir al mismo tiempo que se aniquilaran mutuamente por colisiones casuales con la materia corriente.

Podemos imaginar también antiátomos uniéndose y formando antimoléculas y agregados de mayor tamaño todavía. Estos agregados serían «antimateria», aunque este término podría aplicarse también a antipartículas. Y ésta es la respuesta a la pregunta que al principio del ensayo puse en boca del entrevistador.

Puesto que las partículas no pueden formarse sin sus correspondientes antipartículas, durante mucho tiempo se supuso que en el universo debía de haber tanta antimateria como materia.

Nuestro sistema solar está compuesto enteramente de materia, puesto que de lo contrario las aniquilaciones mutuas serían tan frecuentes que darían resultados detectables. Un razonamiento similar nos asegura que toda nuestra galaxia está compuesta únicamente de materia.

¿Podría haber en algún lugar galaxias compuestas exclusivamente de antimateria, es decir, «antigalaxias»? Es tentador suponer que existen y que son tan numerosas como las galaxias, pero las últimas teorías sugieren que en el momento de la gran explosión no se produjeron en cantidades absolutamente iguales partículas y antipartículas. Hubo un pequeñísimo exceso de partículas, y este exceso «pequeñísimo» fue lo suficientemente grande para formar nuestro vasto universo.

Otra pregunta: ¿tienen todas las partículas, sin excepción, antipartículas?

No. Unas pocas partículas sin carga (no todas) son sus propias antipartículas, por así decirlo. Un ejemplo es el fotón, que es la unidad de toda la radiación electromagnética, desde los rayos gamma hasta las ondas de radio, pasando por la luz visible. El fotón es al mismo tiempo partícula y antipartícula y no hay un «antifotón» separado, ni siquiera en la teoría.

Si hubiera antifotones, las antiestrellas de las antigalaxias emitirían antifotones. Podríamos identificar estos objetos distantes como antigalaxias estudiando la luz que recibimos de ellos. En cambio, las antigalaxias, suponiendo que existieran, producirían la misma luz que las galaxias, y los fotones no nos ayudarían a conocer la existencia y localización de las antigalaxias.

El gravitón (que media en la interacción gravitatoria) es también su propia antipartícula. Esto significa que no podemos distinguir entre galaxias y antigalaxias basándonos en un comportamiento gravitatorio diferente.

El pión neutral es otro ejemplo de una partícula que es su propia antipartícula.

...Y una pregunta final: ¿podría tener la antimateria alguna utilidad práctica? ¿Si no ahora, en algún momento futuro?

Permítanme que exponga este tema en el capítulo siguiente.

16. ¡Avante! ¡Avante!

En 1985, cuando se acercaba el cometa Halley, varias revistas me pidieron que escribiera artículos sobre él.

Hice uno de estos artículos para una revista y me lo devolvieron con el comentario de que lo había llenado con todo tipo de material científico, de poco interés, pero que había descuidado tratar lo que más interesaba: cuándo y dónde se vería mejor el cometa.

Contesté señalando que sería inútil hacerlo, porque el cometa pasaría a bastante distancia de la Tierra y con un ángulo tal que sólo estaría alto en el cielo en el hemisferio austral. Para alcanzar a verlo era recomendable irse de viaje al Sur, y pocos lectores de la revista podrían permitirse este gasto; además, quienes fueran al Sur sólo verían, como máximo, una mancha pequeña y poco brillante de neblina.

También expresé algo de malhumor por la increíble publicidad y exageración que se estaba desplegando en relación con el cometa. Esto tenía que provocar al final el desengaño de muchas personas, y concluí: «No tengo intención de participar en esta campaña».

El director de la revista no se mostró conmovido por mi elocuencia. Rechazó el artículo y no cobré nada por él. (Sin embargo, amable lector, no llores por mí. Vendí el artículo, sin cambiar una palabra, a otra revista, una revista mejor, y exactamente por el doble de la cantidad que la primera me había ofrecido).

En enero de 1985 yo había publicado un libro en Walker and Company *titulado* Guía de Asimov al cometa Halley. *En él tampoco ofrecía indicaciones concretas sobre cómo observarlo. De hecho afirmaba claramente que el cometa no sería un buen espectáculo. Pueden estar seguros de que algunos críticos no dejaron de atacarme por omitir información detallada sobre cómo observar el cometa.*

Lo que me entristece de todo esto no es solamente que el cometa decepcionara a tantas personas, sino que muchas de ellas acabaran desilusionadas con la ciencia. Me pregunto cuántos de ellos pensaron que el poco brillo del cometa se debía a la ineficacia e ignorancia de los astrónomos que habían montado el espectáculo.

Me hubiera gustado únicamente que los astrónomos se hubiesen mostrado más explícitos al describir el aspecto que tendría el cometa y un poco más dispuestos a denunciar todo aquel reclamo sin base. Sin embargo los astrónomos estaban ocupados con las sondas lanzadas en cohete que pasarían cerca del cometa (tal como hicieron) y que convirtieron su llegada en la más útil de todas (desde el punto de vista científico).

Estoy contento de que todo esto haya pasado. Yo también contribuí a hablar y a escribir sobre los cometas (sin caer en exageraciones), incluso en esta serie de ensayos, pero me alegra poder pasar a otros temas. Está, por ejemplo, el tema de los viajes interestelares, algo muy corriente en la ciencia-ficción, pero de lo cual no se habla a menudo en otras partes.

Sin embargo, un importante investigador de estas posibilidades es el doctor Robert L. Forward, de los Laboratorios de Investigación Hughes*, quien además es un conferenciante muy divertido. Yo tenía que hablar después de él en un simposio de una reciente conferencia de la Asociación Estadounidense para el Progreso de la Ciencia, y tuve que esforzarme mucho para no quedar por los suelos después de su intervención.*

Permítanme que trate el tema de los viajes interestelares guiándome por algunas de las ideas de Bob, que desde luego expondré a mi manera.

Hasta el momento, todas las naves que hemos enviado al espacio, con o sin tripulación a bordo, ya sea en un vuelo suborbital o en una sonda a Urano, han sido impulsadas por un motor de reacción química.

Dicho de otro modo, hemos lanzado cohetes que transportan el combustible y su oxidante (es decir, hidrógeno líquido y oxígeno líquido). Cuando estos elementos entran en reacción química se produce energía que obliga a los gases calentados del tubo de escape a salir en una dirección, mientras que el resto del cohete se mueve en otra, según la ley de la acción y la reacción.

La energía de las reacciones químicas se consigue a expensas de la masa del sistema. La masa es una forma de energía altamente concentrada, y una cantidad determinada de energía, aunque sea muy grande (a escala humana), se forma a costa de perder una cantidad insignificante de masa.

De este modo, si quemamos 1,6 millones de kilogramos de hidrógeno líquido con 12,8 millones de kilogramos de oxígeno líquido, terminaremos teniendo 14,4 millones de kilogramos de vapor de agua. Después de ciertos cálculos precipitados que he hecho en el reverso de un sobre, me parece que si tuviéramos que pesar con precisión el vapor de agua, veríamos que pesaría sólo un gramo menos que las masas combinadas originales de hidrógeno y oxígeno.

Toda la energía producida por la combinación química de estos millones de toneladas de hidrógeno y oxígeno sería equivalente a la pérdida de un gramo de masa. Eso significa que la combinación de hidrógeno y oxígeno libera menos de una diezmilmillonésima parte de su masa en forma de energía.

Cuando veamos un enorme cohete que se aleja zumbando por el cielo, produciendo un estruendo que hace temblar la tierra bajo nuestros pies, recordemos que toda esa conmoción representa un porcentaje insignificante de la energía que, en teoría, contiene esa masa de combustible y oxidante.

Tal vez haya algunas sustancias químicas que al mezclarse y reaccionar superen en este aspecto al hidrógeno y el oxígeno, pero no será por mucho. Todos los combustibles químicos son despreciables como fuentes de energía, y deben acumularse masas enormes de ellos para obtener la energía que pueden producir. La energía química puede servir muy bien para las tareas humanas comunes en la superficie de la Tierra. En las naves con cohetes puede acumularse una masa suficiente para que la energía obtenida permita ponerlos en órbita o explorar el sistema solar. Sin embargo, para un viaje interestelar, las reacciones químicas son casi inútiles.

La diferencia entre un vuelo de aquí a Plutón y un vuelo a la estrella más cercana es casi la misma que la diferencia entre medio kilómetro y la longitud de la circunferencia de la Tierra. Podemos remar con una canoa medio kilómetro, pero es poco probable que nos planteemos dar la vuelta al mundo remando.

Es cierto que un cohete químico no tiene que estar «remando» todo el camino. Puede alcanzar una cierta velocidad y luego aprovechar el impulso, pero no dispondrá de combustible suficiente para alcanzar esa velocidad, desacelerar en el otro extremo y hacer funcionar los sistemas de mantenimiento de vida durante el período de tiempo increíblemente largo que tardará en llegar por impulso a una estrella, aunque sea la más próxima. Es demasiado, sin duda, demasiado. La cantidad de combustible que debería transportar una nave de este tipo sería prohibitiva.

Si no existiera una fuente de energía más poderosa que las reacciones químicas, el viaje interestelar sería imposible.

La energía nuclear se descubrió a comienzos del siglo XX. Si la energía química está relacionada con la reordenación de los electrones en las zonas exteriores del átomo, la energía nuclear depende de la reordenación de las partículas dentro del núcleo. La energía nuclear produce cambios de energía mucho mayores que la energía química.

Supongamos, entonces, que en lugar de quemar hidrógeno en oxígeno, extraemos la energía del uranio en el curso de su desintegración radiactiva. ¿Cuánto uranio necesitaremos para convertir un gramo de masa en energía después de que todo el uranio se haya convertido en plomo?

La respuesta (¿dónde dejé el reverso de mi sobre?) es que 4.285 gramos de uranio, después de su desintegración completa, habrán convertido un gramo suyo en energía.

Esto significa, además, que sólo el 0,023 % de la masa del uranio se convertirá en energía, pero el resultado es un poco más de tres millones de veces superior a la energía que obtendríamos de la misma masa de hidrógeno y oxígeno interaccionados.

Sin embargo hay una dificultad. La descomposición radiactiva del uranio, y la consiguiente producción de energía, se produce con extraordinaria lentitud. Si comenzamos con 4.285 gramos de uranio, la mitad de su energía de desintegración sólo se liberará después de transcurridos 4.460 millones de años, y el 95 % de su energía de desintegración sólo se habrá obtenido al cabo de 18.000 millones de años.

¿Quién podría esperar?

¿Puede acelerarse la desintegración? Durante el primer tercio del siglo no se conocía forma práctica de conseguirlo. Para producir reordenaciones nucleares había que bombardear el núcleo con partículas subatómicas. Éste es un método muy poco eficaz y la energía invertida es muchas veces superior a la energía que puede extraerse del núcleo bombardeado.

Por este motivo Ernest Rutherford pensó que no podía esperarse utilizar de forma práctica la energía nuclear a gran escala. Calificó estas ideas de disparates. Rutherford no era tonto, y de hecho figura en mi lista de los diez científicos más grandes de todos los tiempos. Lo único que pasó es que murió en 1937 y no pudo predecir la fisión. Si hubiera vivido sólo dos años y cuarto más...

En la radiactividad natural el átomo de uranio se desintegra en pequeños trozos y pedazos, pero en la fisión el átomo de uranio se desintegra en dos pedazos casi iguales. Esto libera más energía que la desintegración radiactiva común.

Unos 1.077 gramos de uranio en fisión habrán convertido uno de sus gramos en energía cuando el proceso haya terminado. Esto significa que el 0,093 % de la masa de uranio se convierte en energía por fisión. Esto es sólo cuatro veces la energía que podamos obtener del mismo peso de uranio en su desintegración radiactiva natural.

La desintegración radiactiva natural no puede acelerarse de ninguna forma práctica, pero la fisión del uranio puede producirse fácilmente a velocidad explosiva. Por lo tanto, si conseguimos utilizar la fisión nuclear para impulsar las naves espaciales, tendremos una fuente de energía doce millones de veces más abundante que las interacciones químicas. Eso aumentará sin duda la probabilidad de poder realizar viajes interestelares, pero ¿la aumentará de modo suficiente?

Bob Forward señala que si una nave espacial utilizara la fisión del uranio para producir la fuerza propulsora de una tobera de escape, una nave espacial podría, en cincuenta años, alcanzar una distancia del Sol de 200.000 millones de kilómetros.

Esta distancia es unas dieciséis veces superior a la distancia media de Plutón al Sol: el resultado no está mal, pero tampoco muy bien, porque esa distancia representa sólo 1/200 de la distancia a la estrella más próxima. Falta sin duda mucho perfeccionamiento si queremos que una nave llegue en menos de diez mil años a Alpha Centauri.

Pero la fisión no lo es todo. Puede obtenerse más energía a través de la fusión nuclear. La fusión de cuatro núcleos de hidrógeno para formar un núcleo de helio es un proceso especialmente rico en energía.

Se necesitan unos 146 gramos de hidrógeno en fusión para que al terminar la fusión se haya convertido uno de sus gramos en energía. Esto supone que se convierte en energía el 0,685 % de la masa de hidrógeno en fusión; es decir, que se obtiene 7,36 veces más energía de la fusión del hidrógeno que de la fisión del uranio.

Por supuesto, no tenemos aún fusión controlada, pero tenemos fusión incontrolada en forma de bombas de hidrógeno. Por ello se ha especulado con la posibilidad de viajar a través del espacio haciendo explotar una serie de bombas de hidrógeno en la parte posterior de la nave.

Los residuos de las explosiones de fusión se proyectarán hacia el exterior en todas direcciones y algunos chocarán con una «placa impulsora» incorporada a la nave espacial. Poderosos amortiguadores absorberán el choque y transmitirán el impulso con un ritmo razonable a la propia nave.

En 1968, Freeman Dyson imaginó una embarcación interestelar, con una masa de cuatrocientas mil toneladas, que transportaba trescientas mil bombas de fusión de una tonelada de peso cada una. Si estas bombas fueran explotando en la parte posterior de la nave a intervalos de tres segundos, la nave podría acelerarse a 1 g. Es decir, que los tripulantes habrían sentido un aparente impulso gravitacional normal en la dirección de las bombas en explosión. La nave se hubiera elevado como un ascensor en aceleración constante, y esta aceleración habría empujado los pies contra el «suelo» –de hecho la parte posterior– de la nave.

Al cabo de diez días, las trescientas mil bombas de fusión se habrían consumido y la nave habría alcanzado una velocidad de unos diez mil kilómetros por segundo. Si la nave estuviera orientada en la dirección adecuada y avanzara a esta velocidad, pasaría por Alpha Centauri al cabo de 130 años. Para aterrizar en algún objeto en órbita alrededor de una estrella de este sistema sería preciso disponer de otras trescientas mil bombas de hidrógeno y hacerlas explotar en la parte delantera de la nave; o bien habría que girar la nave con motores normales de reacción química y luego detonar las bombas de hidrógeno en la parte posterior de la nave, con su trasera encarada hacia Alpha Centauri.

Llegar a Alpha Centauri al cabo de 130 años es mucho mejor que llegar al cabo de diez mil años, pero aun así significa que los viajeros originales tendrían que pasar su vida entera a bordo de la nave y que muy probablemente serían sus nietos quienes aterrizarían en algún lugar de los sistemas planetarios de Alpha Centauri. Además, no podemos confiar en que los efectos de la relatividad acorten el tiempo para la tripulación. Los efectos de la relatividad, aun a diez mil kilómetros por segundo (un tercio de la velocidad de la luz), son insignificantes. Para los miembros de la tripulación, el tiempo aparente se reducirá aproximadamente en una hora, todo lo más.

Todo iría mejor, quizá, si dispusiéramos de una fusión controlada y pudiéramos mantener estas reacciones a bordo de la nave durante un período de tiempo prolongado. Los productos de la reacción de fusión se perderían al exterior, detrás de la nave, a una velocidad constante y practicable, produciendo un chorro que aceleraría la nave en la otra dirección, exactamente como los gases de escape de un cohete. De este modo, toda la energía de la fusión podría dirigirse y convertirse en aceleración, y no solamente la parte de la energía de las explosiones dirigida hacia la placa impulsora, mientras se pierde en el vacío del espacio la energía que apunta en otras direcciones.

Además, la reacción de fusión controlada proporcionaría la energía de forma continua, y no en descargas sucesivas. A pesar de todo, no creo que el tiempo empleado en llegar a Alpha Centauri se redujera a menos de un siglo.

Incluso así, la fusión del hidrógeno convierte menos del uno por ciento del combustible en energía. ¿Hay alguna forma de mejorar el rendimiento?

Sí, hay algo que se llama antimateria. (Ya hablé del tema en el capítulo anterior).

La antimateria se combina con la materia, y en el proceso aniquila toda la materia que interviene. Medio gramo de antimateria, al combinarse con medio gramo de materia, producirá 146 veces más energía que la fusión de un gramo de hidrógeno, o 1.075 veces más energía que la fisión de un gramo de uranio, o varios miles de millones de veces más energía que la combustión de un gramo de hidrógeno en oxígeno.

La forma de antimateria más asequible es el antielectrón (o positrón). Sin embargo, cuando los antielectrones interaccionan con los electrones producen energía pura en forma de fotones de rayos gamma. Estos emergen en todas las direcciones y no pueden canalizarse con facilidad en una tobera de escape.

La siguiente partícula simple es el antiprotón, que es el núcleo de un átomo de antihidrógeno, mientras que el protón es el núcleo de un átomo de hidrógeno. Para simplificar, pues, podemos hablar de antihidrógeno y de hidrógeno.

Si se permite que el antihidrógeno y el hidrógeno interaccionen, los principales productos resultantes son una mezcla de partículas inestables: «piones» y «antipiones». Estas partículas están cargadas eléctricamente y pueden canalizarse en la tobera de escape de un cohete muy rápido,

dirigiendo la nave hacia delante. Los piones y los antipiones se convierten en «muones» y «antimuones» después de un corto intervalo, y, después de un intervalo algo más largo, los muones y antimuones se convierten en electrones y antielectrones. Al final, toda la masa de hidrógeno y antihidrógeno original se convierte en energía, aparte de una pequeña cantidad que escapa en forma de electrones y no-electrones que permanecieron separados sin interaccionar.

Podría añadirse también una gran cantidad de hidrógeno común a la mezcla interactiva. Este hidrógeno se calentaría a temperaturas muy altas y emergería por la tobera de escape del cohete contribuyendo a la aceleración.

Forward ha calculado que nueve kilogramos de antihidrógeno y cuatro toneladas de hidrógeno podrían acelerar, entre ambos, una nave espacial a una décima parte de la velocidad de la luz (treinta mil kilómetros por segundo), y eso significaría llegar a Alpha Centauri en unos cuarenta años.

Quizá si se utilizara suficiente antimateria, podrían alcanzarse velocidades iguales a un quinto de la velocidad de la luz (sesenta mil kilómetros por segundo). En ese caso podría realizarse un viaje de ida y vuelta a Alpha Centauri en no más de cuarenta años. Sería posible entonces ir y volver en una sola vida, y cabe imaginar que, si las naves espaciales fueran lo bastante grandes y cómodas, habría gente joven dispuesta a dedicar su vida a la empresa.

Pero se presentan obstáculos.

Para empezar, en nuestra parte del universo, y quizá en el conjunto del universo, los antiprotones existen sólo en cantidades mínimas. Sería preciso fabricarlos.

Podría conseguirse esto, por ejemplo, bombardeando objetivos metálicos con protones de alta velocidad. El chorro de energía resultante se convierte, en parte, en partículas, y entre estas partículas hay algunos antiprotones. De momento, el número de antiprotones formado es de sólo dos por cada cien millones de protones lanzados al objetivo.

Intentar reunir suficientes antiprotones para una misión interestelar a este ritmo sería un empresa cara, desde luego, pero es lógico suponer que la eficacia de la producción de antiprotones aumentará mucho con el tiempo.

Una vez producidos los antiprotones, surge otra dificultad. Los antiprotones reaccionarán inmediatamente con cualquier protón que encuentren, y cualquier pedazo de materia común contiene protones. El trabajo que supone mantener el hidrógeno y el oxígeno alejados para que no exploten incontrolablemente antes de que necesitemos su combustión metódica, no es nada comparado con el de impedir que los antiprotones exploten de modo prematuro y más grave todavía.

Una vez formados, los antiprotones deben aislarse de toda materia y mantenerse aislados hasta que deseemos su interacción con los protones. Aunque esto es difícil, no es imposible. Podemos imaginar antihidrógeno sólido, almacenado en una cámara de vacío, cuyas «paredes» consistirían en campos magnéticos o eléctricos. Si algún día esto se lograra, las naves impulsadas por antihidrógeno podrían atravesar el espacio y llegar de la Tierra a Marte en unas semanas, a Plutón en algunos meses, y a la estrella más cercana en algunos decenios.

En todos los sistemas descritos hasta ahora las naves interestelares deben llevar combustible. El combustible más concentrado posible que conocemos es el antiprotón, pero ¿qué sucedería si no necesitáramos combustible?

No lo necesitaríamos si el combustible estuviera en todas partes en el espacio: y en cierto modo así es. El espacio no está realmente vacío; no lo está ni siquiera el espacio entre las galaxias, y no lo está desde luego el espacio entre las estrellas del interior de una galaxia. Por todas partes hay átomos dispersos de hidrógeno (o sus núcleos).

Imaginemos que lanzamos al espacio una nave con un mínimo de combustible ordinario, el suficiente para alcanzar la velocidad que nos permita recoger suficiente hidrógeno interestelar. Podríamos fusionar este hidrógeno y proyectar al exterior, por detrás, los productos de fusión como gases de escape, primero para complementar y después para sustituir el combustible original.

Luego podríamos continuar acelerando indefinidamente, porque no habría peligro de quedarnos sin combustible, y cuanto más deprisa fuéramos, más combustible podríamos obtener por

unidad de tiempo. Este motor es un «estatorreactor interestelar» y con él podríamos alcanzar velocidades tan próximas a la velocidad de la luz como quisiéramos. Si tenemos en cuenta la aceleración y la deceleración, podríamos realizar el viaje de ida y vuelta a Alpha Centauri en sólo quince años.

Este sería el tiempo transcurrido según los de la Tierra. Para los propios astronautas, que viajarían a velocidades ultrarrápidas, la sensación del paso del tiempo sería más lenta. Lo que en la Tierra parecería quince años, podría parecer a los astronautas unos siete años solamente.

Siete años de una vida no está tan mal. Es sólo la mitad del tiempo que necesitaron los supervivientes del viaje de Magallanes, hace casi cinco siglos, para circunnavegar la Tierra por primera vez.

Además, si los astronautas siguen avanzando a casi la velocidad de la luz, apenas notarán el paso del tiempo. Si deciden viajar al otro extremo de la galaxia, o a una galaxia desconocida a centenares de millones de años luz de distancia, quizá tengan la sensación de que la primera travesía dura sólo varios meses más y la segunda un par de años más.

Por supuesto, volverán a casa para descubrir que en la Tierra han pasado cientos de miles o un centenar de millones de años, lo que puede aguarles la fiesta. Pero con los estatorreactores interestelares, el problema de viajar entre las estrellas podría parecer resuelto.

Siguen habiendo algunos obstáculos. Para obtener suficiente hidrógeno del espacio interestelar, suponiendo que contuviera mil átomos por centímetro cúbico, necesitaríamos una pala de recogida de más de un centenar de kilómetros de sección, y esto suponiendo que los átomos de hidrógeno estén ionizados y que su carga eléctrica permita recogerlos mediante campos eléctricos o magnéticos adecuados.

Desgraciadamente, el espacio interestelar alrededor del Sol contiene escaso hidrógeno, menos de 0,1 átomos de hidrógeno por cada centímetro cúbico. Por este motivo, la pala de recogida debería ser de diez mil kilómetros de sección y tener una superficie igual a dos quintas partes de la Tierra. Además, los átomos de hidrógeno en nuestras proximidades no están ionizados, y por lo tanto no pueden recogerse con facilidad. (Quizá esto no sea una absoluta desgracia. Si nuestra región del espacio estuviera llena de hidrógeno ionizado, la situación estaría tan próxima a un desenlace violento que hubiese sido difícil imaginar la supervivencia de la vida en la Tierra). Además, aunque pudiéramos recoger suficiente hidrógeno y alimentar con él los motores de fusión, no sería conveniente para una nave interestelar ir más rápido que a un quinto de la velocidad de la luz.

Al fin y al cabo, cuanto más rápido vayamos más difícil será evitar las colisiones con objetos pequeños y más daños producirá una colisión así. Aunque tengamos la fortuna de esquivar todos los objetos de un tamaño considerable, no podremos esquivar el polvo y los átomos individuales que están esparcidos por todo el espacio.

A dos décimas partes de la velocidad de la luz, el polvo y los átomos quizá no produzcan daños importantes ni siquiera en un viaje de cuarenta años, pero cuanto más rápido vayamos, peor: el espacio comienza a volverse abrasivo. Cuando nos acerquemos a la velocidad de la luz, cada átomo de hidrógeno se convertirá en una partícula de rayos cósmicos, que freiría a la tripulación. (Un átomo de hidrógeno o su núcleo que choque con la nave a una velocidad próxima a la de la luz es una partícula de rayo cósmico; no hay diferencia alguna si la nave choca con un átomo de hidrógeno o con un núcleo de hidrógeno a una velocidad próxima a la de la luz. Sancho Panza dice que tanto si la piedra da al cántaro, como el cántaro a la piedra, el cántaro saldrá perdiendo. De modo que sesenta mil kilómetros por segundo pueden ser el límite de velocidad conveniente para el viaje espacial).

Incluso el estatorreactor espacial utiliza el principio del cohete. Sin embargo, Bob Forward habla de un «misil sin cohete». Podríamos impulsar la nave con pequeños proyectiles lanzados desde el interior del sistema solar o mediante un rayo máser o un rayo láser.

Estos sistemas evitarían que una nave espacial interestelar tuviera que transportar su propio combustible y permitirían una acumulación progresiva de velocidades próximas a la de la luz. La ventaja de este sistema en comparación con los estatorreactores sería que no dependería de que el

espacio circundante tuviera características muy especiales y difíciles de satisfacer.

De todos modos, las dificultades serían en ese caso formidables. Un rayo láser, por ejemplo, tendría que dar en una vela fabricada de lámina de aluminio que tendría mil kilómetros de diámetro y que, por fina que fuera, pesaría con toda seguridad unos ochenta millones de kilos. Y no resultaría práctico alcanzar velocidades superiores a un quinto de la velocidad de la luz.

Creo, por tanto, que un viaje de ida y vuelta de cuarenta años, con combustible de antimateria, es el mejor sistema para explorar los espacios interestelares durante el período de vida de un astronauta. E incluso esto nos llevaría únicamente a la estrella más próxima.

Lo cual, desde luego, ya tiene mérito. Nos permitirá estudiar detalladamente una segunda estrella muy parecida a nuestro Sol (Alpha Centauri A), otra que es claramente más pequeña y más tenue (Alpha Centauri B), y otra que es una pequeña enana roja (Alpha Centauri C); por no hablar de los objetos planetarios que puedan girar alrededor de alguna de las tres.

Si pudiéramos establecer una civilización independiente en el sistema de Alpha Centauri, podríamos entonces enviar naves aún más lejos de nosotros, alcanzando en el período de vida de un astronauta una estrella que sería inaccesible desde la Tierra.

De esta forma, una ola de exploración podría ir avanzando a saltos hacia el exterior, en todas direcciones, y cada nueva base podría llegar a una, dos o incluso tres estrellas que los demás seguramente no podrían alcanzar.

La humanidad podría ir dispersándose por la galaxia durante un período de varios centenares de miles de años.

El contacto no depende exclusivamente de los viajes.

Cada nuevo mundo puede mantener contacto con mundos cercanos mediante señales que viajen a la velocidad de la luz. Las noticias podrían viajar de un mundo a otro por relevos y pasar de una punta de la galaxia a otra en un centenar de miles de años, más o menos.

Todo eso, sin embargo, no es el tipo de viaje interestelar ni el tipo de imperio galáctico que los escritores de ciencia-ficción estamos constantemente describiendo.

No, porque lo que allí perseguimos es viajar con mayor rapidez que la luz. No nos sirven otras cosas. Éste ha sido un tema central de la ciencia-ficción desde que E. E. Smith lo introdujo en *La alondra del espacio*, publicado en 1928.

Desde entonces, todo el mundo, incluyéndome a mí, lo ha utilizado (con alguna explicación verosímil o sin ella).

Como por desgracia no veo nada en perspectiva que nos ofrezca la posibilidad práctica de viajar a una velocidad superior a la de la luz, me temo que mi Imperio Galáctico de la serie Fundación se quede probablemente para siempre en... ciencia-ficción.

A pesar de todo, les advierto que tengo la intención de seguir aprovechando esta posibilidad...

Cuarta Parte: Un Extra

17. La Relatividad Del Error

El otro día recibí una carta de un lector. Estaba escrita con una caligrafía retorcida y resultaba difícil de leer. Sin embargo, intenté descifrarla por si contenía algo importante.

El remitente empezaba contándome que se estaba especializando en literatura inglesa, pero que sentía la necesidad de enseñarme ciencia. (Yo suspiré un poco, porque conozco muy pocos especialistas en literatura inglesa que estén preparados para enseñarme ciencia, aunque soy muy consciente de la vastitud de mi ignorancia y estoy dispuesto a aprender todo lo que pueda de cualquier persona, por baja que esté en la escala social. O sea, que continué leyendo).

Parece ser que en uno de mis innumerables ensayos, aquí o en otro lugar, había expresado una cierta alegría por vivir en un siglo en el cual habíamos comprendido finalmente la base del universo.

No entré mucho en materia, pero mi intención era explicar que ahora conocíamos las reglas básicas que gobiernan el universo y las relaciones mutuas gravitatorias entre sus componentes grandes, según la teoría de la relatividad elaborada entre 1905 y 1916. También conocemos las reglas básicas que rigen las partículas subatómicas y sus relaciones mutuas, puesto que todas ellas están descritas muy sucintamente por la teoría cuántica elaborada entre 1900 y 1916. Además, hemos descubierto que las galaxias y los cúmulos galácticos son las unidades básicas del universo físico, tal como se descubrió entre 1920 y 1930.

Como ven, todos estos descubrimientos se han realizado en el siglo XX.

El joven especialista en literatura inglesa, después de citarme, me sermoneaba con severidad señalando que en cualquier siglo la gente ha pensado que comprendía finalmente el universo, a pesar de que en cualquier siglo ha resultado que esta gente estaba equivocada. Se deduce de ello que lo único que podemos decir sobre nuestro «conocimiento» moderno es que está equivocado.

El joven citaba luego con aprobación el comentario de Sócrates al saber que el oráculo de Delfos había proclamado que era el hombre más sabio de Grecia. «Si soy el hombre más sabio –dijo Sócrates– es porque soy el único que sabe que no sabe nada». En consecuencia yo era muy tonto porque tenía la sensación de que sabía muchas cosas.

Por desgracia, nada de eso era nuevo para mí. (Hay pocas cosas que sean nuevas para mí: me gustaría que quienes me escriben se dieran cuenta de ello). Me aplicó esta tesis concreta hace un cuarto de siglo John Campbell, quien se había especializado en irritarme. Campbell agregó también que a su debido tiempo todas las teorías han resultado falsas.

La respuesta que le di fue: «John, cuando las personas creían que la Tierra era plana, estaban equivocadas. Cuando creían que la Tierra era esférica, estaban equivocadas. Pero si tú crees que considerar la tierra esférica es tan equivocado como creer que la Tierra es plana, entonces tus ideas están más equivocadas que las dos ideas anteriores juntas». Como ven, el problema principal es que la gente cree que «correcto» y «equivocado» son absolutos, que todo lo que no es correcto de modo perfecto y completo está equivocado de modo total e igual.

Yo no opino esto. Creo que correcto y equivocado son conceptos borrosos, y voy a dedicar este ensayo a explicar por qué opino así.

En primer lugar acabemos con Sócrates, porque ya estoy harto y cansado de este invento de que no saber nada es un signo de sabiduría.

No hay nadie que no sepa nada. En sólo cuestión de días los bebés aprenden a reconocer a sus madres.

Sócrates, como es lógico, estaría de acuerdo en esto y explicaría que él no se refería al conocimiento de cosas triviales. Se refería a que en las grandes abstracciones sobre las que discuten los seres humanos uno debe comenzar sin nociones preconcebidas y no examinadas, y que él era el único que sabía esto. (¡Qué pretensión tan enormemente arrogante!) Sócrates, en sus explicaciones sobre temas como «¿Qué es la justicia?» o «¿Qué es la virtud?», adoptaba la actitud de decir que él no sabía nada y que los demás tenían que instruirle. (Esto se llama «ironía socrática», porque Sócrates sabía perfectamente que conocía muchas más cosas que los pobres hombres que escogía como interlocutores). Al pretender ignorancia, Sócrates tentaba a los demás para que expusieran sus opiniones sobre estas abstracciones.

Después planteaba una serie de preguntas aparentemente ignorantes y obligaba a los demás a caer en una mezcla tal de contradicciones que al final se desanimaban y admitían que no sabían de qué hablaban.

Es una demostración de la maravillosa tolerancia de los atenienses el hecho de que durante decenios aguantaran esto y que no se cansaran hasta que Sócrates cumplió setenta años y le obligaron a beber la cicuta.

Ahora bien, ¿de dónde sacamos la idea de que lo «correcto» y lo «equivocado» son absolutos? Creo que esta idea tiene su origen en la primera enseñanza, cuando los niños saben muy poco y les enseñan maestros que sólo saben un poco más.

Los niños aprenden a deletrear y la aritmética, por ejemplo, y aquí tropezamos con aparentes absolutos.

¿Cómo deletreamos azúcar? Respuesta: a-z-ú-c-a-r. Esto es lo correcto. Cualquier otra respuesta está equivocada.

¿Cuánto son 2 + 2? La respuesta es 4. Esto es lo correcto. Cualquier otra respuesta está equivocada.

Tener respuestas exactas, y tener cosas absolutamente correctas y equivocadas reduce la necesidad de pensar, y esto gusta tanto a los alumnos como a los profesores. Por esto motivo, tanto alumnos como profesores prefieren exámenes con respuestas breves a exámenes de redacción; exámenes de alternativas múltiples a exámenes con respuestas breves en blanco; y exámenes cierto-falso a exámenes donde hay que escoger entre varias alternativas.

Pero en mi opinión los exámenes con respuestas breves no sirven para medir la comprensión que un alumno tiene de un tema. Son exámenes que demuestran simplemente la memoria que tienen para recordar cosas.

Ustedes podrán entender a qué me refiero cuando admitan que las nociones de correcto y equivocado son relativas.

¿Cómo deletreamos «azúcar»? Supongamos que Alice responde p-q-z-z-f y que Genevieve responde s-ú-c-a-r.

Ambas respuestas están equivocadas, pero no hay duda de que la respuesta de Alice está más equivocada que la de Genevieve.

O supongamos que deletreamos «azúcar» de esta manera: s-u-c-r-o-s-a, o bien $C_{12}H_{22}O_{11}$. Estrictamente hablando nos hemos equivocado en los dos casos, pero estamos exhibiendo un cierto conocimiento del tema que va más allá de una ortografía convencional.

Supongamos que la pregunta del examen fuera: ¿de cuántas maneras diferentes puede deletrearse «azúcar»? Justificar cada una de ellas.

Es evidente que el alumno tendrá que pensar mucho y que al final deberá demostrar lo mucho o lo poco que sabe.

El profesor deberá pensar también mucho para intentar evaluar lo mucho o lo poco que sabe el alumno. Supongo que ambos se sentirán indignados.

Preguntemos de nuevo cuánto es 2 + 2. Supongamos que Joseph dice: 2 + 2 = púrpura, y que

Maxwell dice:

2 + 2 = 17. Ambos están equivocados, pero sería justo decir que Joseph se ha equivocado más que Maxwell.

Supongamos que decimos: 2 + 2 = un entero. La respuesta sería correcta, ¿no? O supongamos que respondemos: 2 + 2 = un entero par. Sería todavía más correcta. O supongamos que decimos: 2 + 2 = 3,999. ¿No estaríamos casi en lo cierto?

Si el maestro quiere que le den 4 de respuesta y no quiere distinguir entre las diversas respuestas equivocadas, ¿no supone esto fijar un límite innecesario a la comprensión?

Supongamos que la pregunta es cuánto suman 9 + 5 y que el alumno responde 2. ¿No será criticado y ridiculizado, y no se le comunicará que la respuesta es 9 + 5 = 14?

Si luego le dicen que han pasado 9 horas desde medianoche, y que por lo tanto son las 9, y le preguntan qué hora será dentro de 5 horas, y el alumno responde las 14 basándose en que 9 + 5 = 14, ¿no será criticado de nuevo diciéndole que serían las 2? Al parecer en este caso la respuesta válida sí es 9 + 5 = 2.

O supongamos de nuevo que Richard dice: 2 + 2 = 11, y que antes de que el maestro le envíe a casa con una nota para su madre, añade:

—En base 3, claro.

Richard tendría ahora razón.

He aquí otro ejemplo. El maestro pregunta:

—¿Quién es el cuadragésimo presidente de Estados Unidos?

Y Barbara responde:

—No hay ninguno, señor maestro.

—¡Falso! —dice el maestro—. Ronald Reagan es el cuadragésimo presidente de Estados Unidos.

—De ningún modo —dice Barbara—. Tengo aquí una lista de todas las personas que han desempeñado el cargo de presidente de Estados Unidos según la Constitución, desde George Washington a Ronald Reagan, y sólo son treinta y nueve, por lo tanto el presidente cuarenta no existe.

—Ah —dice el maestro—, pero Grover Cleveland desempeñó dos mandatos no consecutivos, el primero de 1885 a 1889 y el segundo de 1893 a 1897. Cuenta como el presidente vigésimo segundo y el presidente vigésimo cuarto.

Por esto Ronald Reagan es la persona número treinta y nueve que ha desempeñado el cargo de presidente de Estados Unidos y al mismo tiempo es el presidente cuadragésimo de Estados Unidos.

¿No es ridículo? ¿Por qué cuentan dos veces a una persona si sus mandatos no son consecutivos y sólo una vez cuando los mandatos son consecutivos? ¡Simple convención! Sin embargo, Barbara recibe una mala nota, tan mala como si hubiera dicho que el cuadragésimo presidente de Estados Unidos es Fidel Castro.

Por lo tanto, cuando mi amigo, el experto en literatura inglesa, me dice que cada siglo los científicos creen que han descubierto el funcionamiento del universo y que siempre se equivocan, lo que me interesa saber es hasta qué punto se equivocaron. ¿Sufrieron el mismo grado de error? Pongamos un ejemplo.

En los primeros días de la civilización, la idea general era que la Tierra era plana.

Esto no se debía a que la gente fuera tonta, o a que les gustara creer estupideces. Pensaban que era plana basándose en pruebas sólidas. No era sólo una cuestión de responder «éste es el aspecto que tiene», porque la Tierra no parece plana. Su aspecto es accidentado y caótico, con colinas, valles, barrancos, precipicios, etc.

Desde luego, también hay llanuras en las que, sobre zonas limitadas, la superficie de la Tierra parece bastante plana. Una de estas llanuras es la zona del Tigris y el Éufrates donde se desarrolló la primera civilización histórica (una civilización con escritura), la de los sumerios.

Quizá fue el aspecto de la llanura lo que llevó a los inteligentes sumerios a aceptar la generalización de que la Tierra era plana, pensando que si pudieran igualarse todas las elevaciones y depresiones, el resultado sería plano.

Puede haber contribuido a esta idea el hecho de que las superficies de agua (estanques y lagos) parecen bastante planas en días tranquilos.

Otra manera de considerar el tema es preguntarnos qué es la «curvatura» de la superficie de la Tierra. ¿Hasta qué punto se desvía (en promedio) esta superficie, a lo largo de una distancia considerable, de una superficie perfectamente plana? La teoría de la Tierra plana nos dirá que la superficie real no se desvía nada de la superficie plana, que su curvatura es de 0 por kilómetro.

Hoy en día, como es evidente, se nos enseña que la teoría de la Tierra plana está equivocada; que está equivocada, terriblemente equivocada, absolutamente equivocada.

Pero esto no es cierto. La curvatura de la Tierra es de casi 0 por kilómetro, por lo que, si bien la teoría de la Tierra plana está equivocada, resulta ser casi correcta. Esto explica que la teoría durara tanto.

Como es lógico, hay motivos que explican el carácter poco satisfactorio de la teoría de la Tierra plana, y hacia el 350 a. J.C. el filósofo griego Aristóteles los resumió.

En primer lugar, algunas estrellas desaparecen detrás del hemisferio sur cuando uno viaja hacia el Norte, y detrás del hemisferio norte cuando uno viaja hacia el Sur. En segundo lugar, la sombra de la Tierra sobre la Luna durante un eclipse lunar es siempre un arco de círculo. En tercer lugar, aquí en la misma Tierra, los buques desaparecen detrás del horizonte primero por el casco, en cualquier dirección en que estén navegando.

Estas tres observaciones podrían explicarse de modo razonable si la superficie de la Tierra fuera plana, pero también podrían explicarse suponiendo que la Tierra es una esfera.

Aristóteles, además, creía que toda la materia sólida tendía a desplazarse hacia un centro común, y si la materia sólida hiciera esto acabaría formando una esfera. Un volumen dado de materia está en promedio más cerca de un centro común si es una esfera que si tiene cualquier otra forma.

Un siglo aproximadamente después de Aristóteles, el filósofo griego Eratóstenes observó que el Sol proyectaba sombras de longitudes diferentes en latitudes diferentes (todas las sombras tendrían la misma longitud si la superficie de la Tierra fuera plana). A partir de la diferencia de longitud de las sombras calculó el tamaño de la esfera terrestre, que resultó tener una circunferencia de cuarenta mil kilómetros.

La curvatura de esta esfera es aproximadamente de 0,0000786 por kilómetro, una cantidad muy próxima a 0 por kilómetro, como puede observarse, y que no podía medirse fácilmente con las técnicas de que disponían los antiguos. La pequeña diferencia entre 0 y 0,0000786 explica que tuviera que transcurrir tanto tiempo para poder pasar de una Tierra plana a una Tierra esférica.

Fijémonos en que una diferencia muy pequeña, como la existente entre 0 y 0,0000786, puede ser muy importante. Esta diferencia se suma. La Tierra no puede cartografiarse sobre grandes superficies con cierta precisión si no se tiene en cuenta esta diferencia y si la Tierra no se considera una esfera en lugar de una superficie plana. No pueden emprenderse largos viajes oceánicos con la seguridad de poder localizar de modo razonable la posición en el océano si la Tierra no se considera esférica en lugar de plana.

Además, la Tierra plana hace pensar que la Tierra es infinita, o que su superficie tiene un «final». En cambio, la teoría de la Tierra esférica postula una Tierra que es al mismo tiempo finita y limitada, y este último postulado concuerda con todos los descubrimientos posteriores.

Por lo tanto, aunque la teoría de la Tierra plana sólo esté ligeramente equivocada y diga mucho en favor de sus inventores, es lo suficientemente equivocada para que deba rechazarse en favor de la teoría de la Tierra esférica.

Y, sin embargo, ¿es la Tierra una esfera?

No, no es una esfera, no lo es en el sentido matemático estricto. Una esfera tiene algunas

propiedades matemáticas: por ejemplo, todos los diámetros (es decir, todas las líneas rectas que pasan por un punto de su superficie, por el centro y por otro punto de su superficie) tienen la misma longitud.

Sin embargo, esto no se cumple en la Tierra. Distintos diámetros de la Tierra tienen distinta longitud.

¿Qué convenció a la gente de que la Tierra no era una esfera auténtica? En primer lugar, el Sol y la Luna tienen perfiles que son círculos perfectos dentro de los límites de la medición en la primera época del telescopio. Esto concuerda con la idea de que el Sol y la Luna tienen una forma perfectamente esférica.

Sin embargo, cuando los primeros observadores telescópicos observaron Júpiter y Saturno vieron claramente que los perfiles de estos planetas no son círculos, sino elipses bien marcadas. Esto significa que Júpiter y Saturno no son auténticas esferas.

Isaac Newton, hacia fines del siglo XVII, demostró que un cuerpo de gran masa formará una esfera bajo la atracción de las fuerzas gravitatorias (exactamente como Aristóteles había argumentado), pero solamente si no gira. Si el cuerpo gira, se producirá un efecto centrífugo que empujará la materia del cuerpo contra la gravedad, y este efecto será mayor cuanto más nos acerquemos al ecuador. El efecto será también mayor cuanto más rápidamente gire un objeto esférico, y desde luego Júpiter y Saturno giran muy rápidamente.

La Tierra gira mucho más lentamente que Júpiter o Saturno, por lo tanto el efecto deberá ser menor, pero continuará notándose. En el siglo XVII se hicieron mediciones reales de la curvatura de la Tierra que confirmaron la teoría de Newton.

Dicho con otras palabras, la Tierra tiene una protuberancia ecuatorial. La Tierra está achatada por los polos.

Es un «esferoide achatado por los polos» y no una esfera.

Esto significa que los distintos diámetros de la Tierra tienen longitudes diferentes. Los diámetros más largos son los que van de un punto cualquiera del ecuador al punto opuesto en el mismo ecuador. Este «diámetro ecuatorial» es de 12.755 kilómetros. El diámetro más corto es el que va del Polo Norte al Polo Sur; este «diámetro polar» es de 12.711 kilómetros.

La diferencia entre los diámetros más largo y más corto es de 44 kilómetros, y esto significa que el achatamiento de la Tierra (la diferencia con respecto a una esfericidad exacta) es de 44/12.755, o sea 0,0034. Esto equivale a 1/3 de un 1%.

Dicho de otro modo, sobre una superficie plana, la curvatura es de 0 por kilómetro en todas partes. Sobre la superficie esférica de la Tierra, la curvatura es 12,5 centímetros por kilómetro en todas partes. Sobre la superficie esferoidal achatada, la curvatura varía de 12,657 centímetros por kilómetro hasta 12,742 centímetros por kilómetro.

La corrección necesaria para pasar de la esfera al esferoide achatado es mucho menor que para pasar de un plano a una esfera. Por lo tanto, aunque en sentido estricto sea equivocada la idea de que la Tierra es una esfera, no es tan equivocada como la idea de que la Tierra es plana.

Incluso la idea de que la Tierra es un esferoide achatado no es estrictamente correcta. En 1958, cuando se puso en órbita alrededor de la Tierra el satélite Vanguard 1, pudo medirse la atracción gravitatoria local de la Tierra, y por lo tanto su forma, con una precisión sin precedentes. Resultó que la protuberancia ecuatorial al sur del ecuador era algo más pronunciada que la protuberancia al norte del ecuador, y que el nivel del mar en el Polo Sur estaba algo más próximo al centro de la Tierra que el nivel del mar en el Polo Norte.

Pareció inevitable explicar el hecho diciendo que la Tierra tenía forma de pera, e inmediatamente la gente decidió que la Tierra no era una esfera sino que tenía la forma de una pera suspendida en el espacio. En realidad, la desviación de esta pera en relación con un esferoide achatado perfecto es de metros en lugar de kilómetros, y el ajuste de la curvatura es de millonésimas de centímetro por kilómetro.

En definitiva, mi querido amigo de literatura inglesa que vive en un mundo mental de

corrección e incorrección absolutas, puede pensar que la Tierra actualmente quizá sea esférica, pero que en el próximo siglo, puesto que todas las teorías están equivocadas, se considerará cúbica, en el siguiente un icosaedro hueco y en el siguiente un «donut».

Lo que sucede en realidad es que los científicos cuando consiguen elaborar un concepto bueno lo refinan y lo amplían gradualmente con sutilidad creciente a medida que mejoran sus instrumentos de medición. Las teorías, más que equivocadas, son incompletas.

Esto puede aplicarse a muchos otros casos, aparte del de la forma de la Tierra. Incluso cuando una nueva teoría representa una revolución, su origen suelen ser pequeños refinamientos. Si se necesitara algo más que un pequeño refinamiento, la antigua teoría no habría durado nada.

Copérnico pasó de un sistema planetario centrado en la Tierra a un sistema centrado en el Sol. Al hacerlo, pasó de algo que era evidente a algo que al parecer era ridículo. Sin embargo, se trataba de encontrar procedimientos mejores para calcular el movimiento de los planetas en el cielo, y al final la teoría geocéntrica quedó arrinconada.

La antigua teoría se mantuvo durante tanto tiempo precisamente porque proporcionaba resultados que concordaban bastante bien con las normas de medición de su época.

Del mismo modo, al principio pareció razonable suponer que la Tierra no experimentaba cambios y que ella y la vida existieron siempre como ahora, debido precisamente a que las formaciones geológicas terrestres cambian muy lentamente. Si ello era cierto, no tenía ninguna importancia que la Tierra y la vida tuvieran miles de millones de años de edad o que sólo tuvieran miles de años, pero la idea de que tuvieran miles de años era más fácil de entender.

Cuando observaciones cuidadosas demostraron que la Tierra y la vida cambian con una velocidad pequeñísima, pero no nula, se comprendió que la Tierra y la vida tenían que ser muy antiguas. Nació la moderna geología y con ella el concepto de la evolución biológica.

Si la velocidad de los cambios fuera más rápida, la geología y la evolución habrían alcanzado su estado moderno en la edad antigua. Los creacionistas pueden continuar haciendo propaganda de su locura únicamente porque la diferencia entre la velocidad de cambio en un universo estático y la velocidad de cambio en un universo evolutivo se sitúa entre cero y casi cero.

¿Qué podemos decir también sobre las dos grandes teorías del siglo XX, la relatividad y la mecánica cuántica?

Las teorías de Newton sobre el movimiento y la gravitación se aproximaban mucho a la verdad, y habrían sido absolutamente correctas si la velocidad de la luz hubiese sido infinita. Sin embargo, la velocidad de la luz es finita, y esto tuvo que tenerse en cuenta en las ecuaciones relativistas de Einstein, que son una ampliación y un refinamiento de las ecuaciones de Newton.

Uno podría replicar que la diferencia entre infinito y finito es también infinita, por lo tanto ¿por qué no quedaron invalidadas inmediatamente las ecuaciones de Newton?

Expresemos esto de otro modo, y preguntemos cuánto tarda la luz en recorrer la distancia de un metro.

Si la luz se desplazara a una velocidad infinita, la luz tardaría 0 segundos en recorrer un metro. Sin embargo, a la velocidad con que se transmite la luz necesita 0,0000000033 segundos. La corrección que introdujo Einstein es esta diferencia entre 0 y 0,0000000033.

Desde el punto de vista conceptual, la corrección era tan importante como la corrección de la curvatura de la Tierra de 0 a 12,7 centímetros por kilómetro. Las partículas subatómicas a gran velocidad no se comportarían como lo hacen sin esta corrección, ni los aceleradores de partículas funcionarían como lo hacen, ni las bombas atómicas explotarían, ni las estrellas brillarían. Sin embargo, fue una corrección pequeñísima, y no es de extrañar que, en su época, Newton no pudiera tenerla en cuenta, puesto que sus observaciones estaban limitadas a velocidades y distancias en las que la corrección era insignificante.

También el concepto precuántico de la física fallaba porque no tenía en cuenta el carácter «granular» del universo.

Se había pensado que todas las formas de energía eran continuas y que podían dividirse

indefinidamente en cantidades cada vez menores.

Esto resultó incorrecto. La energía existe en cuantos, cuyo tamaño depende de algo llamado constante de Planck.

Si la constante de Planck fuera igual a 0 ergios-segundo, la energía sería continua, y no habría granulosidad en el universo. Sin embargo, la constante de Planck es igual a 0,0000000000000000000000000066 ergios-segundo. Se trata realmente de una desviación pequeñísima en relación con cero, tan pequeñísima que no es preciso tenerla en cuenta para las cuestiones corrientes de la energía en la vida cotidiana. Sin embargo, si uno trabaja con partículas subatómicas, la granulosidad es relativamente tan grande que es imposible ocuparse de ellas sin introducir consideraciones de índole cuántica.

Puesto que los refinamientos de la teoría son cada vez más pequeños, incluso teorías antiguas tuvieron que ser bastante correctas para permitir posteriores avances; avances que no fueron anulados por refinamientos consiguientes.

Los griegos introdujeron la noción de latitud y de longitud, por ejemplo, y confeccionaron mapas bastante buenos de la cuenca del Mediterráneo, sin tener siquiera en cuenta la esfericidad, y nosotros todavía utilizamos hoy en día la latitud y la longitud.

Los sumerios fueron probablemente los primeros en sentar el principio de que los movimientos planetarios en el cielo ofrecen una regularidad y pueden predecirse, y luego elaboraron métodos para hacerlo, aunque suponían que la Tierra era el centro del universo. Sus mediciones se han refinado enormemente, pero el principio sigue siendo el mismo.

La teoría de la gravitación de Newton, si bien es incompleta cuando se aplica a grandes distancias y a velocidades enormes, es perfectamente adecuada para el sistema solar. El cometa Halley aparece puntualmente según predicen la teoría de la gravitación y las leyes del movimiento de Newton. Toda la ciencia de los misiles se basa en Newton y el Voyager 2 llegó a Urano a un segundo del tiempo previsto. Ninguna de estas cosas quedaron anuladas por la relatividad.

En el siglo XIX, antes de que pudiera soñarse en la teoría cuántica, se sentaron las leyes de la termodinámica a saber, la conservación de la energía como primera ley y el inevitable aumento de entropía como segunda ley. Se fijaron también otras leyes de conservación, como la conservación del momento, del momento angular y de la carga eléctrica. Lo mismo se hizo con las leyes del electromagnetismo de Maxwell. Todo quedó firmemente asentado, incluso después de la llegada de la teoría cuántica.

Es evidente que las teorías que tenemos actualmente podrían considerarse equivocadas en el sentido simplista de mi corresponsal de literatura inglesa, pero en un sentido mucho más cierto y sutil sólo necesitan considerarse incompletas.

Por ejemplo, la teoría cuántica ha producido algo llamado «extrañeza cuántica» que pone en entredicho la misma naturaleza de la realidad y que crea enigmas filosóficos sobre los cuales los físicos parece que no pueden ponerse de acuerdo. Quizá hemos alcanzado un punto en que el cerebro humano ya no puede comprender las cosas, o quizá la teoría cuántica es incompleta y cuando se amplíe toda su «extrañeza» desaparecerá.

También la teoría cuántica y la relatividad parecen ser independientes una de otra, de modo que si bien la teoría cuántica permite, al parecer, combinar en un único sistema matemático tres de las cuatro interacciones conocidas, la gravitación –el reino de la relatividad– parece que continúa mostrándose intransigente.

Si la teoría cuántica y la gravedad pudieran combinarse quizá sería posible una auténtica «teoría unificada de Campo».

Sin embargo, si todo esto se consigue, continuará siendo un refinamiento más que afectará las fronteras de lo conocido: la naturaleza de la gran explosión primordial y la creación del universo, las propiedades en el centro de los agujeros negros, algunos puntos sutiles sobre la evolución de las galaxias y de las supernovas, etc.

En cambio, casi todo lo que sabemos hoy continuará inalterado, y cuando digo que estoy contento de vivir en un siglo que ha comprendido el universo de modo esencial, creo que estoy

justificado para hacerlo.

Autorizaciones:

Los ensayos de este volumen, reproducidos de *The Magazine of Fantasy and Science Fiction*, aparecieron en los siguientes números:

«La Luna y nosotros» (abril de 1986);
«Los objetos menores» (mayo de 1986);
«El segundo isótopo más ligero» (junio de 1986);
«Los marcadores de las moléculas» (julio de 1986);
«Las consecuencias del pastel» (agosto de 1986);
«El enemigo interno» (septiembre de 1986);
«La relatividad del error» (octubre de 1986);
«El planeta inmencionable» (noviembre de 1986);
«El elemento medio sin salida» (diciembre de 1986);
«Partículas opuestas» (enero de 1987);
«¡Avante! ¡Avante!» (febrero de 1987);
«El planeta increíblemente encogido» (marzo de 1987);
«El portador de luz» (abril de 1987);
«Primero los huesos» (mayo de 1987);
«Nuevas estrellas» (junio de 1987);
«Estrellas de brillo creciente» (julio de 1987);
«Superexplosiones estelares» (agosto de 1987).

En este volumen entretenido e ilustrativo Asimov hace de nuevo accesibles todas las complejidades de los fenómenos científicos. El autor ha dividido el libro en tres partes: «Isótopos y elementos», «El sistema solar» y «Más allá del sistema solar», y dentro de cada una de ellas examina de modo convincente el «efecto lunar» sobre el comportamiento humano, la estructura de la Vía Láctea, el descubrimiento de las estrellas, los viajes interestelares y muchas cosas más. El ensayo que da título al volumen, y que aparece en un capítulo especial titulado «Un extra», trata sobre nuestra comprensión de lo correcto y de lo equivocado, y con la claridad y el ingenio característicos del autor, analiza las consecuencias que esos «absolutos» tuvieron para la evolución de la teoría científica.

La relatividad del error, formada por diecisiete ensayos, confirma la fama indiscutible de Isaac Asimov como la persona que mejor sabe explicar de un modo sencillo los grandes enigmas del mundo de la ciencia.

9 789681 053208

Colección Documento